

Welle kontra Welle

Beim Thema Adaptronik horchen alle Automobilhersteller auf. Denn durch die Verbindung von Mechanik und Elektronik lassen sich Schwingungen aller Art bekämpfen – und zwar gleich an der Quelle.

Jeder deutsche Automobilhersteller hat Projekte mit aktiven Systemen, mit Adaptronik – jeder! So lautete der einhellige Tenor auf dem mittlerweile achten Adaptronik-Kongress Ende April in Hildesheim. Und die Experten sind sich zudem einig, welche Baugruppen das im Fahrzeug sind: „Alles, was schwingt – der Motor, der gesamte Antriebsstrang und natürlich auch das Fahrwerk, denn hier lassen sich die Schwingungen an der Quelle bekämpfen.“ Aber reden will keiner darüber. So kommentiert ein großer bayrischer Autohersteller, „dass man natürlich Projekte zur Adaptronik laufen habe, aber momentan noch nicht detailliert antworten will“.

Allerdings – und auch da sind sich alle einig, seien die Entwicklungszeiten „gewaltig lang“, so dass es einfach noch kein serienreifes adaptives System im Fahrzeug gebe. Die OEM bauen derzeit ihre Kompetenz auf bzw. aus und versuchen, sich über Kooperationen den Technologiezugang zu verschaffen.

Egal, ob nun fünf oder zehn Jahre bis zum ersten adaptiven Seriensystem vergehen, Roger Wimmel kommt der Wissensdurst der OEM gerade recht: Die Eras GmbH, deren Geschäftsführer Wimmel ist, ist einer der Vorreiter in Sachen Adaptronik und hat schon im Jahr 2001 gemeinsam mit der Karmann GmbH einen so genannten Demonstrator vorgestellt, der das lästige „Cabrio-Zittern“ adaptiv bekämpft (s. auch Interview auf S. 68).



Bei Cabrios führt das fehlende Dach zu Steifigkeitsverlust. Gegenphasig induzierte Karoserieschwingungen könnten lästige Vibrationen beseitigen.

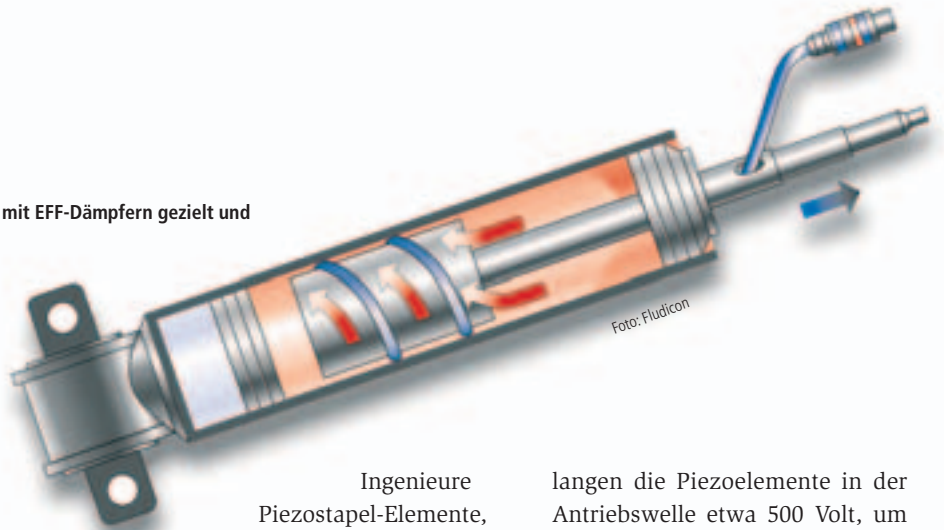
Cabriolets als Nischenfahrzeuge basieren häufig auf Großserienlimousinen bzw. Coupés. Diese sind selbsttragend konstruiert, so dass das fehlende Dach zu einem Steifigkeitsverlust führt. Hiermit sind Torsionsschwingungen verbunden, die die Schwingungsamplituden am Rückspiegel und am Lenkrad um mehr als das Zehnfache erhöhen. Der Fahrer registriert dies als Lenkrad-Zittern und sieht den Rückspiegel vibrieren.

Konventionelle passive Karoserialtilger reduzieren die Ampli-

tuden zwar, sind aber sehr schwer. Des Weiteren ist die Eigenfrequenz der passiven Tilger von der Außentemperatur abhängig. Ein auf 20 °C abgestimmter Tilger kann bei kalter Umgebungstemperatur die Schwingung eines Cabriolets sogar verändern.

Beim von Karmann und Eras entwickelten aktiven ASRS-System sind die Aktuatoren in die hinteren Diagonalstreben integriert. Diese variablen Diagonalstreben liegen im Kraftfluss der Torsion, sodass die Aktuatoren Torsionsschwin-

Das Fahrverhalten lässt sich mit EFF-Dämpfern gezielt und schnell beeinflussen.



gungen in die Karosserie einleiten können. Diese wirken gegenphasig zu den straßen-erregten Schwingungen und senken die Torsionsschwingungen um etwa 70 Prozent.

Nachdem der Demonstrator – ein von Karmann gebautes CLK-Cabrio – auf den Testgeländen verschiedener OEM seine Funktionalität bewiesen hat, ist sich Wimmel jetzt sicher, „dass wir hier die erste Adaptronikanwendung im Fahrzeug sehen“. Und diese Zuversicht kommt nicht von ungefähr, denn im Komfortbereich sind nicht die äußerst hohen Anforderungen der sicherheitskritischen Anwendungen zu erfüllen.

Eine solche Hürde versuchen VW und das Dresdner Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik gerade an der Antriebsgelenkwelle des Audi A2 zu überwinden. Um die bei höheren Drehzahlen durch Schwingungen verursachten Geräusche zu reduzieren, integrierten die

Ingenieure Piezostapel-Elemente, die als Sensoren und Aktoren fungieren. Ergänzt durch eine externe Regelung und Energieversorgung induziert das adaptive System gegenphasige Schwingungen, was die Schwingungsamplituden um über 50 Prozent und den Schalldruck um etwa 12 Dezibel reduziert.

Diese Erfolge haben in Wolfsburg scheinbar so überzeugt, dass man das 2003 abgeschlossene Projekt nicht nur mit dem Ziel der Miniaturisierung der Leistungselektronik und Regelungstechnik weiterführt, sondern auch auf die Motorlagerung ausdehnt. Da hierbei jedoch nicht die Kraft, sondern der Stellweg den Ausschlag gibt, setzen die Entwickler auf magneto-resistive Formgedächtnislegierungen. Diese lassen sich im Magnetfeld in ihrem Stellweg problemlos bis etwa fünf Millimeter variieren. Trotz aller Erfolge bereitet die Spannungsversorgung noch Probleme: So ver-

langen die Piezoelemente in der Antriebswelle etwa 500 Volt, um mechanische Arbeit zu verrichten.

Fest oder flüssig

Dieses Problem teilen sich viele adaptive Systeme, wie auch Dr. Ralf Adenstedt von der Fludicon GmbH bestätigt. Die Darmstädter Firma entwickelt Aktoren, die sich die Eigenschaften von elektro-rheologischen Fluiden zu Nutze machen. Dabei handelt es sich um ein mit Polymerteilchen angereichertes hochisolierendes Siliconöl. Sobald Spannung anliegt, bilden die fein verteilten Partikel Dipole und verbinden sich zu langen Ketten. Innerhalb von Millisekunden sind die Teilchen polarisiert, sodass die Suspension in kürzester Zeit zu einem zähen Gel erstarrt. Schaltet man den Strom ab, so ist die Suspension genauso schnell wieder flüssig.

Fludicon hat das intelligente Material in einen serienmäßigen Stoßdämpfer integriert, der die Dämpfung elektronisch regelt. Nachdem das Problem der Partikel-Sedimentation durch Zugabe von Stabilisatoren sowie optimierte Drallströmungen im Zylindern gelöst scheint, bleibt aber die bekannte Hürde zu überwinden – der Effekt benötigt eine Schaltspannung von etwa zwei Kilovolt.

Intelligentes Portfolio

Losgelöst von der Systemzuverlässigkeit und Energieversorgung, tauchen immer mehr Komponenten am Markt auf, die adaptive Ei-

Bitte lesen Sie weiter auf S. 69



Foto: DaimlerChrysler

Was ist eigentlich Adaptronik?

Der Kunstbegriff „Adaptronik“ steht für „Adaption durch Elektronik“. Das Ziel sind adaptive Systeme, die sich über selbstregelnde Mechanismen an unterschiedliche Betriebsbedingungen anpassen. Adaptive Materialien sammeln als Sensoren Umgebungsinformationen oder sie übernehmen als Aktoren in umgekehrter Richtung Informationen auf Bauteile. Zusammen mit entsprechender Steuerung verleihen adaptive Materialien leblosen Strukturen quasi Nerven. Im Vordergrund stehen Lösungsansätze zur

- Lärm- und Schwingungsreduktion
- Konturverformung und Stabilisierung
- Feinstpositionierung
- Sensortechnik im Ultraschallbereich
- Schadenserkenkung

Die Adaptronik hat ihre Wurzeln Mitte der achtziger Jahre in den USA. In Europa gilt Prof. Elmar Breitbach, Direktor des DLR-Instituts für Strukturmechanik, als Pionier der Adaptronik. Er sitzt auch im Expertenbeirat des alljährlich stattfindenden Adaptronik-Kongresses.

Interview mit Roger Wimmel, Geschäftsführer von Eras

„Passive Lösungen sind nicht billiger“

Störende Dynamik beseitigt die Göttinger Firma Eras mit Gegen- dynamik. Geschäftsführer Roger Wimmel ist davon überzeugt, dass sich die Adaptronik über kurz oder lang im Fahrzeug etabliert.

Warum gibt es noch kein serienreifes adaptronisches System im Fahrzeug?

Bisher hat man beispielsweise Antriebswellen aus Stahl gefertigt und klassisch ausgelegt. Jetzt kommen sensorische, aktuatorische und regelungstechnische Eigenschaften hinzu. Das sind Innovationen, aber eben auch Technologiesprünge, die nicht so einfach sind. Trotz aller Vorteile wird alles komplexer.

Eine Serienlösung für fünfzig Euro ist also unrealistisch?

Ja, 50 Euro ist für jede der Komponenten viel zu wenig. Aktive Systeme kosten im Maschinenbau bis zu 100 000 Euro. Im Fahrzeugbereich müsste man deutlich unter 1 000 Euro kommen, vielleicht sogar in Regionen unter 100 Euro. Aber die Serienproduktion ermöglicht dies, denn zwischen einem Funktionsmuster und einem serienentwickelten Bauteil liegt häufig der Kostenfaktor 100.

Solange die Schwingungsreduzierung passiv möglich ist, wird doch kein Hersteller ein teures System einsetzen wollen?

Man kann nicht Äpfel mit Birnen vergleichen! Passive Lösungen sind entwickelter – nicht billiger! Wir werden durch aktive Maßnahmen zu Gewichtsreduktionen, mehr Komfort und mehr Sicherheit kommen. Was ist das wert? Außerdem lösen aktive Elemente passive Elemente nicht ab, sondern ergänzen sie.

Wann sehen wir die ersten adaptiven Systeme auf der Straße?

Es wird an vielen adaptronischen und mechatronischen Systemen gearbeitet, seien es Bremssysteme oder Fahrerassistenzsysteme. Aber wenn es darum geht, die Dynamik, Schwingungen oder Akustik mit aktiven Systemen zu verbessern, dann muss der Leidensdruck groß sein bzw. es muss Exklusivität vorhanden sein. Da bieten sich Cabrios an, sodass ich davon ausgehe, dass wir hier die erste Adaptronikanwendung im Fahrzeug finden. Für die fahrzeugspezifische Anpassung ist ein Zeitraum von zwei bis drei Jahren nötig.

Ist der Leidensdruck im Cabrio wirklich so groß?

Ja, denn das typische Cabrio-Vibrieren ist in jedem Fall feststellbar: Wenn das Lenkrad nach Schlaglöchern zittert, der Spiegel nicht zur Ruhe kommt und der Sitz wackelt, dann ist dies unangenehm. Da es hier nicht um mehr Sicherheit, sondern um mehr Komfort geht, wird es adaptronische Systeme zuerst in exklusiven Modellen geben.

Um die Vibration zu eliminieren, setzt das von Eras und Karmann entwickelte aktive System auf Hydraulikaktoren. Wie viele Sensoren und Aktoren sind nötig und wo sind diese angebracht?

Möglich sind sowohl Piezo-Aktuatoren als auch Hydraulik-Aktuatoren. Die Aktuatoren befinden sich im Bereich der versteifenden

Maßnahmen. Hier sind in den meisten Cabrios zwei verstärkende Diagonalstreben zu finden. Dazu kommen in der Regel ein bis sechs Sensoren. Ein wichtiger Regelungssensor befindet sich am Innenspiegel, da hier die größten Schwingungen auftreten. Die Regeltüte verbessert sich aber, wenn man die Schwingungen des ganzen Fahrzeugs sensorisch erfasst.

Welchen Chancen haben sicherheitskritische Anwendungen, beispielsweise das aktive Fahrwerk?

Alle Bauteile, die sicherheitsrelevant sind, haben eine deutlich höhere Hürde zu überwinden, sodass man hierfür noch etwas mehr Zeit benötigt.

Die Fragen stellte Jens Badstübner



Foto: Badstübner

Roger Wimmel: „Gewichtsreduktionen, mehr Komfort und mehr Sicherheit – was ist das wert?“

genschaften besitzen. So profitiert die Direkteinspritzung beim Diesel schon von der Schnelligkeit von Piezoelementen und auch für den Otto-Motor hat Siemens VDO das PDI-Verfahren (Piezo Direct Injection) präsentiert.

Jetzt soll Piezo-Technik von Siemens auch den Verbrennungsdruck erfassen und die NO_x-Emissionen reduzieren. Der in die Zündkerze integrierte Drucksensor erfordert keine Bohrung oder Bau-raum und erzeugt durch den Piezo-Effekt eine druckproportionale Ladung. Mit einer geschlossenen Regelstruktur ließe sich laut Siemens die Verbrennung bei niedrigen Temperaturen optimieren – eine Voraussetzung für weniger NO_x-Emissionen.

Darüber hinaus ist die druckproportionale Ladungsabgabe von Piezokeramiken für die verschiedensten Anwendungen interessant: In die Stoßstange integriert, können diese als Aufprall- und Unfallsensor fungieren. Denn bei mechanischer Belastung folgt die Ladungsabgabe einer Hystereseschleife: Bei maximaler Belastung degeneriert das Material mit der maximalen Ladungsabgabe. Mit diesem einmaligen Ereignis ließe sich beispielsweise ein Unfall auf Jahre hinweg batterieles dokumentieren. Bei Belastungen unter dieser Degenerationsgrenze sind die Piezoeigenschaften reversibel, d. h. die Ladungsabgabe ist wiederholbar. Mit diesem Effekt wird beispielsweise die Airbagauslösung dadurch unterstützt, dass in Autositze eingearbeitete Piezofasern das Insassengewicht erkennen.

Dieser Insasse könnte demnächst auch der 55 bis 98 Kilogramm schwere „Memosic“ sein. Memosic ist ein 80 000 Euro teurer Test-Dummy. Das translatorisch frei schwingende System der Firma Wölfel Beratende Ingenieure GmbH, Hühberg in Franken, si-

muliert erstmals das menschliche Schwingungsverhalten und berücksichtigt dabei das Insassengewicht sowie den geschlechtsspezifischen Körperaufbau. Diese „menschliche Impedanz“ wirkt sich auf die Sitzübertragungsfunktion aus, welche bei der Sitzauslegung die Grundlage für den optimalen Sitzkomfort ist.

Bei den vielen geschilderten Projekten verwundert es kaum, dass die Fraunhofer Gesellschaft ihre Aktivitäten in einer geschlossenen Entwicklungskette bündelt. „Faspas“ (Funktionsverdichtende adaptive Strukturen durch Kombination von Piezotechnik und Softwaretechnologie autonomer Systeme) reicht von den Materialwissenschaften bis zur Systemzuverlässigkeit und soll integrierte adaptive Strukturen marktfähig anbieten. Damit könnte es auch gelingen, dass wir endlich das erste adaptive System in weniger als einer Dekade im Serienfahrzeug sehen. Höchste Zeit – da sind sich alle einig.

Jens Badstübner

Multifunktionale Werkstoffe

In der Adaptronik sind piezoelektrische und elektrorestruktive Werkstoffe am weitesten entwickelt: Unter Belastung bauen sie sensorisch auswertbare elektrische Ladungen auf und umgekehrt führt eine elektrische Anregung zu einer aktorisch nutzbaren mechanischen Wirkung.

Neben Stapeln, hauchdünnen Folien und Filmen auf Basis von Piezokeramiken setzen die Forscher auf elektromagnetische Folien, Formgedächtnislegierungen oder auf elektrorheologische Fluide – auf Materialien also, die sich durch elektrische Spannung dazu anregen lassen, ihre Form, Konsistenz oder Dämpfungseigenschaften beliebig oft und exakt steuerbar zu ändern.

Fortsetzung von S. 67