

5.3 Keramik im Auto, denn ohne ist man nicht mobil

- Dr.-Ing. Peter Stingl
CeramTec AG
Lauf a. d. Pegnitz
- Ines Durmann
Sembach GmbH & Co. KG
Lauf a. d. Pegnitz

Die Folien finden Sie ab Seite 495.

Teile aus Hochleistungskeramik haben sich mittlerweile einen festen Platz im Automobilbau erobert. Als meist unsichtbare Helfer tragen sie dazu bei, Fahrsicherheit, Komfort und Umweltverträglichkeit des Fahrzeugs zu optimieren. Mehr noch: Bei vielen neuen Entwicklungen steht der Einsatz von keramischen Komponenten im Mittelpunkt. Dies trifft vor allem auf piezokeramische Bauteile zu.

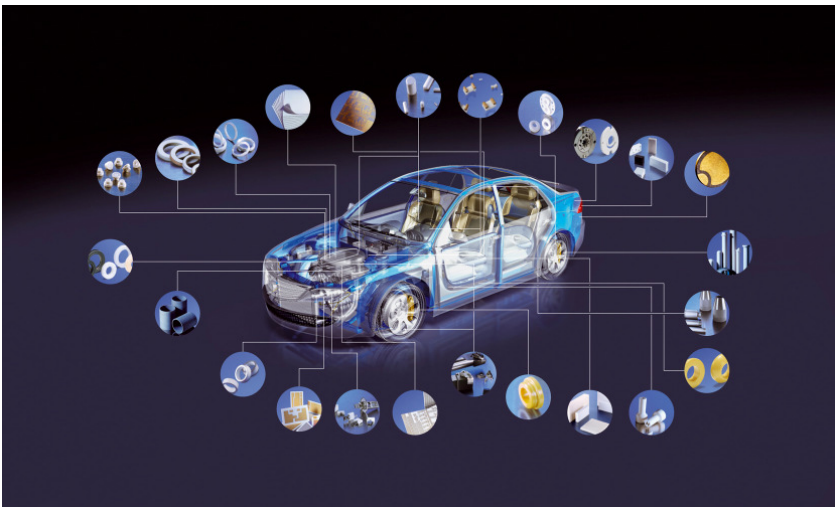


Bild 1: Vielfalt der keramischen Bauteile im Automobil

5.3.1. Alt Bewährtes

2001 feierte die Zündkerze mit dem keramischen Isolationskörper aus Aluminiumoxid ihren 100. (!!) Geburtstag. Dies dürfte wohl der erste Einsatz von Keramik im Automobil gewesen sein. Im Jahr 1902 fertigte die Fa. Bosch 300 Kerzen / Jahr; derzeit werden allein im Werk Bamberg über 1 Million Zündkerzen pro Tag (!!) hergestellt.



Bild 2: Zündkerze, Bosch



Bild 3: Abgaskatalysator

Siliciumcarbid ist seit fast 2 Jahrzehnten der Werkstoff der Wahl für Gleitringdichtungen in Kühlwasserpumpen.

Der keramische Abgaskatalysator zum Abbau der Schadstoffe CO, HC und NO_x ist seit vielen Jahren Stand der Technik. Hier wurden in der Vergangenheit auch Distanzringe aus Aluminiumtitanat eingesetzt.



Bild 4: Stützkeramik aus Steatit in der Lambdasonde

In Verbindung mit dem Dreiwegekatalysator kommt seit 1976 die Lambda – Sonde zum Einsatz. Herzstück der Fingersonde ist eine ZrO_2 – Keramik, die für eine stöchiometrische Verbrennung ($\lambda = 1$) des Luft – Kraftstoffgemisches sorgt.

Die planare Lambda – Sonde ist die Weiterentwicklung der Fingersonde. Bei dieser Sonde bilden keramische Folien den Festkörperelektrolyten. Das Aufeinanderlaminieren verschiedener bedruckter Folien macht es möglich, einen Heizer im Sensorelement zu integrieren.

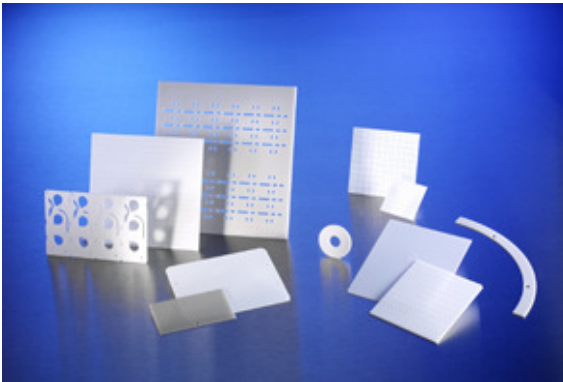


Bild 5: Keramische Substrate

Weiterer wichtiger Bestandteil montierter Lambda – Sonden (bei Fingersonde und Planarsonde) sind isolierende Stützkeramiken aus Steatit, einer Magnesiumsilicatkeramik. Auch diese Bauteile werden heute in äußerst komplexen Formen millionenfach produziert und verbaut.

Piezokeramische Bauelemente haben sich mittlerweile auf breiter Basis insbesondere im Bereich Sensorik etabliert. In erster Linie sind hier Klopf- und Rückfahrsensoren sowie Verzögerungssensoren zu nennen.

Bauteile aus Aluminiumoxid oder Aluminiumnitrid werden als keramische Substrate für Hochleistungsschaltungen in der Hybridtechnik verwendet. Hybridschaltungen bilden die Grundlage für unterschiedlichste Anwendungen im Automobil. Sie sind für extreme thermische und elektrische Beanspruchungen ausgelegt und arbeiten in Systemen wie ABS, ASR, Airbag, I – Sonde sowie in der Sensorik.

Im Bereich der Lichttechnik (Halogen, Xenon) werden wegen der erforderlichen Temperaturstabilität silicatkeramische Halterungen und Sockel serienmäßig eingesetzt.

In all diesen Bereichen beweisen keramische Bauteile seit vielen Jahren, dass sie die hohen Ansprüche der Automobilindustrie hinsichtlich Qualität, Funktion und Wirtschaftlichkeit zuverlässig erfüllen. Viele keramische Großserienanwendungen sind weitgehend unbekannt geblieben, da die Komponenten nicht sichtbar in Systeme integriert sind.

5.3.2. Neuere Entwicklungen in der Serie

In all diesen Bereichen beweisen keramische Bauteile seit vielen Jahren, dass sie die hohen Ansprüche der Automobilindustrie hinsichtlich Qualität, Funktion und Wirtschaftlichkeit zuverlässig erfüllen. Viele keramische Großserienanwendungen sind weitgehend unbekannt geblieben, da die Komponenten nicht sichtbar in Systeme integriert sind.

Partikelfilter System

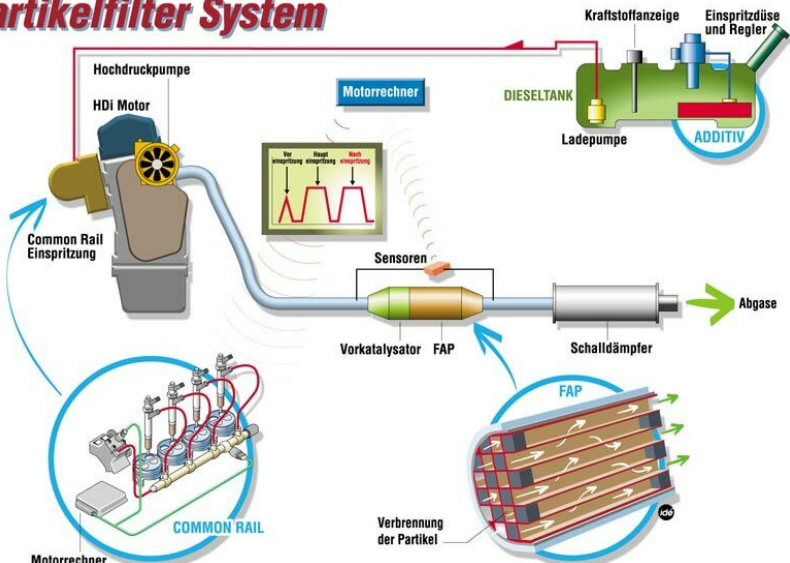


Bild 6: Partikelfilter Systeme; Quelle: Kfztech.de

Die inzwischen etablierte Partikelfilter – Technologie, ist derzeit die effektivste technische Lösung, um die bei Dieselfahrzeugen auftretende Russmission wirksam zu vermeiden. Herzstück des Systems ist ein Wabenkörper aus porösem Siliciumcarbid. Über einen Drucksensor wird gemessen, wie sich der Filter allmählich mit Ruß zusetzt. Der entstehende Ruß muss in regelmäßigen Abständen verbrannt werden, damit der Filter funktionsfähig bleibt.

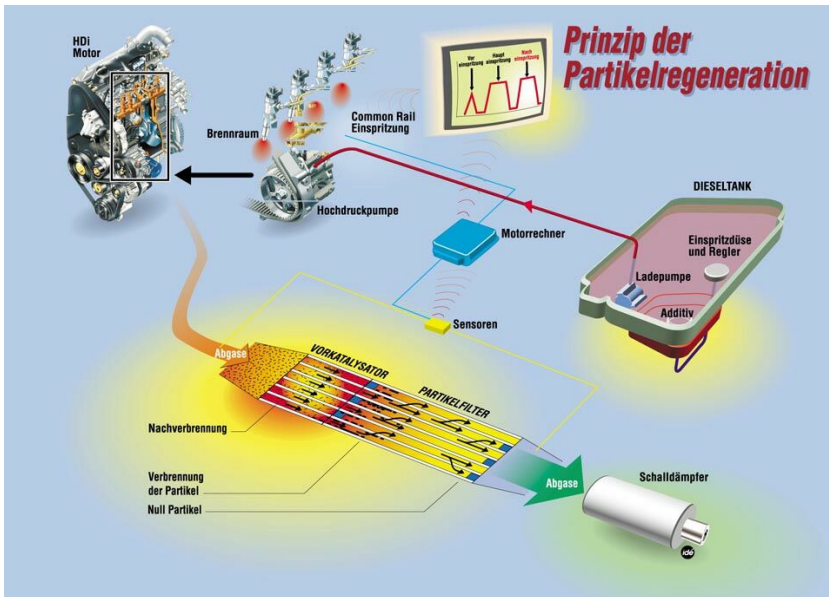


Bild 7: Prinzip der Partikelregeneration; Quelle: Kfztech.de

Im Durchschnitt emittiert der Peugeot – Motor mit SiC – Filter 10.000 – mal weniger Russpartikel in die Umwelt als ein moderner Common – Rail – Diesel ohne Partikelfilter. Durch die Einführung der Common – Rail – Technik mit Einspritzdrücken von bis zu 1.600 bar wurde vor einigen Jahren die Dieseltechnologie revolutionär verbessert. Seitdem nimmt der Anteil an Dieselfahrzeugen beständig zu und hat bei einigen Automobilherstellern bereits die 50% - Marke überschritten.

Der Einspritzvorgang wird mittels Magnetventilen gesteuert, die pro Zündzyklus zweimal Dieselmotorkraftstoff einspritzen. Noch schneller geht es, wenn die hydraulischen Einspritzventile von piezokeramischen Stellelementen betätigt werden. Kernstück der neuen Technologie sind piezokeramische Multilayer – Aktoren, die sich beim Anlegen

einer elektrischen Spannung ausdehnen (inverser Piezoeffekt). Dies geschieht im Bereich von Bruchteilen von Millisekunden sowie mit hoher Stellkraft und Präzision. Es sind 4-fach schnellere Schaltzeiten als beim Magnetventil realisierbar. Damit ist ein modulierter Einspritzverlauf mit bis zu fünf Teileinspritzungen möglich. Dies bringt erhebliche Vorteile hinsichtlich Kraftstoffverbrauch, Geräuschentwicklung und Abgasemission. Außerdem lässt sich eine späte Nacheinspritzung verwirklichen, wie sie z. B. beim Betrieb eines Partikelfilters vorteilhaft ist. Eine Milliarde Einspritzvorgänge muss ein Piezo-Aktor während eines „Autolebens“ mindestens schaffen, pro Zündung bis zu fünf.



Bild 8: Piezokeramischen Stellelement; Quelle: Volkswagen

5.3.3. Mögliche Ansätze für die Zukunft

Der Trend zum zunehmenden Einsatz von Leichtbaumaterialien wird sich weiter fortsetzen. Leichtmetalle haben jedoch hinsichtlich Verschleiß und Festigkeit ihre Grenzen. Derzeitige Entwicklungen zielen darauf ab, die Schwächen von Leichtmetall durch die Verstärkung mit keramischen Partikeln oder Fasern zu kompensieren, ohne das spezifische Gewicht zu erhöhen. Metallkeramische Verbundwerkstoffe sind bei geringem Gewicht sehr formstabil und verschleißbeständig. Erste Bauteile befinden sich in der Testphase.

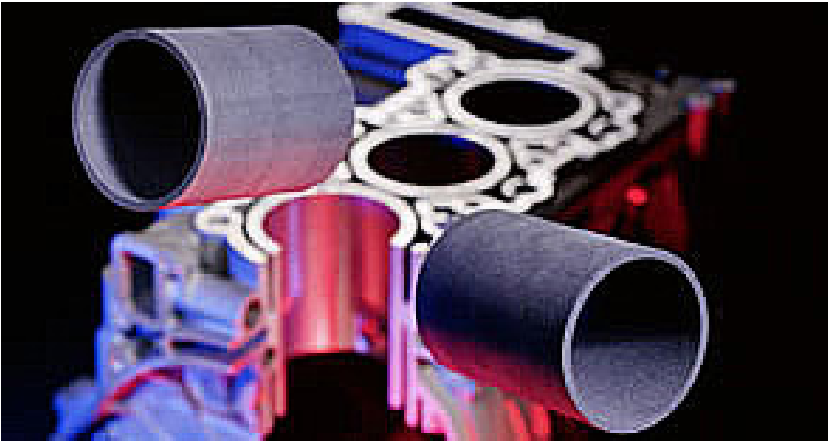


Bild 9: Preforms; Quelle: CeramTec

Piezokeramische Werkstoffe haben auch bei vielen neuen Entwicklungen im Bereich der Automobiltechnik gute Chancen. Aufgrund der sehr kurzen Ansprechzeiten sowie der hohen Kräfte wird insbesondere den piezokeramischen Multilayer-Aktoren ein hohes Zukunftspotential zugeschrieben. Arbeitsschwerpunkte liegen hier z. B. im Bereich der elektropneumatischen Ventile oder der Benzin-Direkteinspritzung.

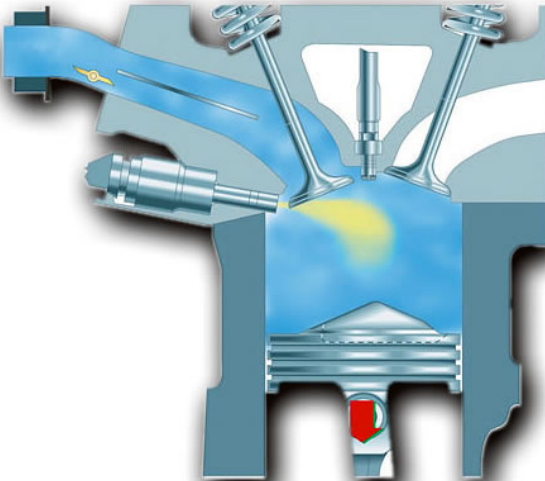


Bild 10: Benzindirekteinspritzung; Quelle: Volkswagen

Ein weiterer interessanter keramischer Forschungsschwerpunkt der letzten Jahre ist die Entwicklung sog. Adaptiver Werkstoffe.

Im Automobil wird zunehmend mit leichten Werkstoffen gearbeitet. Nur: je leichter die Bauteile, desto stärker vibrieren sie und erzeugen Lärm. Intelligente adaptive Werkstoffe können hier Abhilfe schaffen. Die Basis dafür bilden beispielsweise piezokeramische Fasern und Folien mit adaptiven Reglern. Es wird ein Faserverbund aufgebaut, der nicht nur tragende Funktionen übernimmt, sondern auch aktorische und sensorische Fähigkeiten besitzt. Solche Elemente können auf äußere Veränderungen reagieren, bevor störende Verformungen auftreten. Piezokeramische Bauteile können helfen, die Schwingungen stark zu verringern. Sie registrieren die Vibrationen und werden dann über einen Regler mit genau derselben Frequenz angeregt, in der das Fahrzeug schwingt. Die Schwingungen werden zeitlich so versetzt, dass sie sich gegenseitig auslöschen. So lassen sich Schwingungen und Körperschallprobleme schon dort unterbinden, wo sie entstehen. Damit kann der Gewichtsvorteil der Leichtbauwerkstoffe genutzt und gleichzeitig der Komfort für die Insassen erhöht werden, da der Lärmpegel im Fahrzeug gesenkt wird. Derzeit experimentiert man mit dem Einbau von piezokeramischen Folien in das Autodach. Die Folien werden an bekannt neuralgischen Punkten angebracht und sorgen dafür, dass sich der Körperschall nicht länger über das vibrierende Dach und damit auf die Insassen überträgt.

Quellen:

- „Auto 2020“, Manager Magazin, Heft 6, 2006
- „Mobilität – die Autos der Zukunft“, wissen.de
- „Partikelfiltersystem“, kfztech.de
- „Keramik im Automobil – Vision oder Wirklichkeit“, Dr.-Ing. Peter Stingl, VKI Seminarreihe 2005

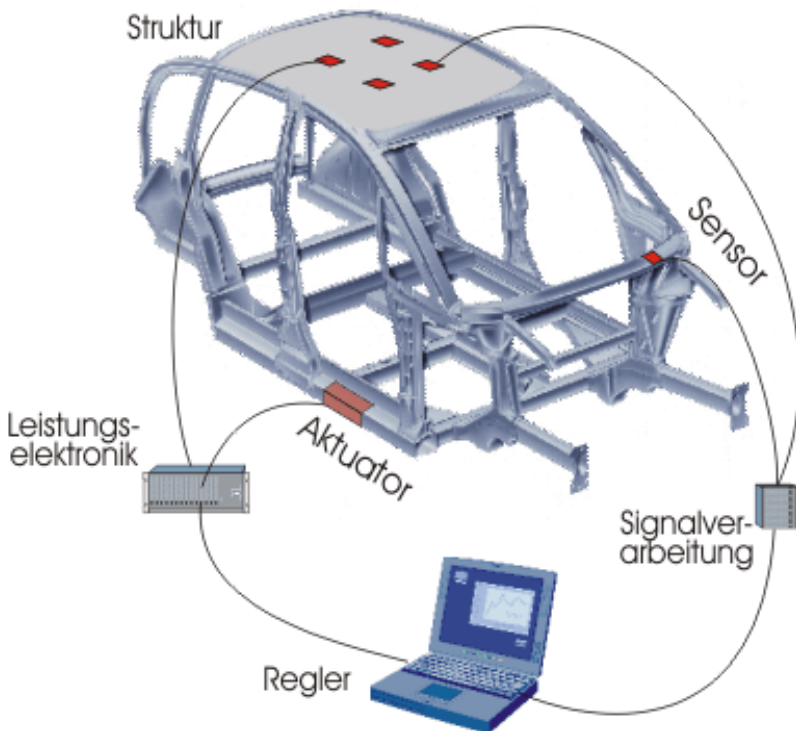


Bild 11: Adaptronik; Quelle: Fraunhofer Allianz Adaptronik

5.3.4. Das Automobil 2020

Das Auto der Zukunft soll sicherer, sparsamer, umweltfreundlicher und dennoch leistungsfähiger sein als seine Vorgänger. Den Hightechkürzeln ABS (Antiblockiersystem), ASR (Antischlupfregelung), ESP (Elektronisches Stabilisierungsprogramm), BAS (Bremsassistent), ABC (Active Body Control, Wankminderung) oder ACC (Adaptive Cruise Control) werden weitere folgen.



Bild 12: 1 – Liter – Auto Volkswagen

Wird das Auto der Zukunft sich in Parklücken schlängeln können wie eine Katze? Oder wird sich der Auspuff zum „Frischluff – Auspuff“ entwickeln? Wird das Auto der Zukunft auch ohne Fahrer auskommen, der sich unterwegs entspannt dem neuesten Videospiel widmen kann? Wird es das individualisierte Auto geben oder der Preis einem Wildwuchs der Wünsche den Riegel vorschieben? Wird es das 1 – Liter – Auto auch für eine vierköpfige Familie mit Gepäck geben?



Bild 13: F400 Carving Mercedes

Die Technik wird auf jeden Fall weiterhin rasant voranschreiten und der Werkstoff Keramik hat sicher auch weiterhin gute Chancen auf seinen Platz im Fahrzeug der Zukunft, wenn es den Werkstoffentwicklern gelingt am Ball zu bleiben.



Bild 14: Suzuki Mobile Terrace

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 26) finden sich auf den folgenden Seiten.

Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil

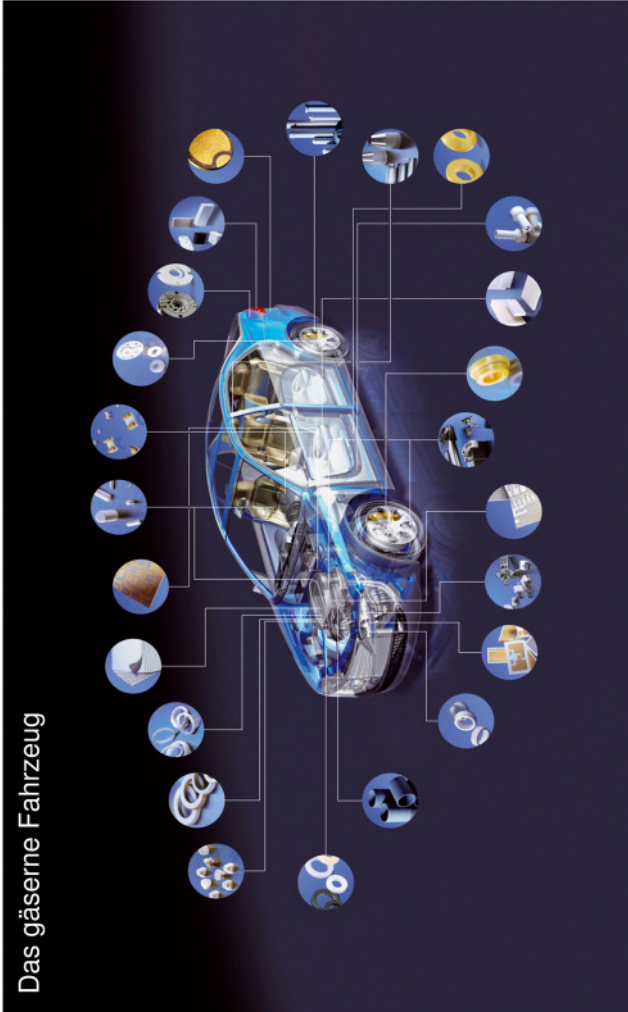
Ines Durmann
Sembach GmbH & Co. KG
Lauf a.d. Pegnitz



Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil



Das gäserne Fahrzeug

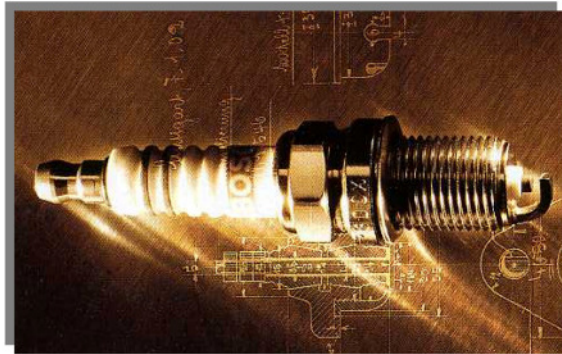


5.3 Keramik im Auto - Folie 2

Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil



Historie der Zündkerze



Werkbild Bosch

- | | | |
|---|------|--|
| ★ | 1902 | Patentanmeldung Fa. Bosch
Zündkerze in Kombination mit
Hochspannungs-Magnetzündler |
| ★ | | Isolierkörper aus Keramik |
| ★ | 1902 | fertigte Bosch 300 Zündkerzen
pro Jahr |
| ★ | 2002 | > 1 Mio. Kerzen pro Tag
allein im Werk Bamberg |

Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil



Zuheizer mit keramischer Brennerdüse

Werkstoff

- Cordierit

Vorteile

- Ausgezeichnete TWB – Eigenschaften aufgrund der niedrigen Wärmeausdehnung
- Wirtschaftlich herstellbar über Trockenpressverfahren



Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil

Silikatkeramische Bauteile für die Lichttechnik

Socket, Halterung und Isolierkomponenten von Halogen- und Xenonlampen sind hohen Temperaturbelastungen ausgesetzt

Vorteile:

- Lebensdauer
- Wirtschaftlichkeit



Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil



Keramische Gleitringe für die Kühlwasserpumpe



Werkstoff:

- Al_2O_3
- SiC

Vorteile:

- Verschleißbeständigkeit
- chemische Beständigkeit
- Gutmütiges tribologisches Verhalten



Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil

Seitenplatten aus Aluminiumoxid für die Kraftstoffpumpe

Werkstoff

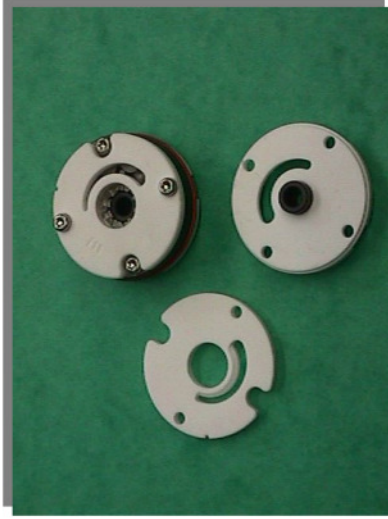
- Aluminiumoxid

Vorteile

- Optimierte Oberflächentopografie für metallische Laufpartner
- Integriertes Kohlenstofflager für die Motorwelle
- Korrosionsbeständigkeit gegen Kraftstoff

Status

- Serieneinsatz seit > 15 Jahren



Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil



Stützkeramik für die Lambdasonde

Werkstoff

- Steatit

Vorteile

- Wirtschaftlich herstellbar mittels hochautomatisiertem Trockenpressverfahren

Status

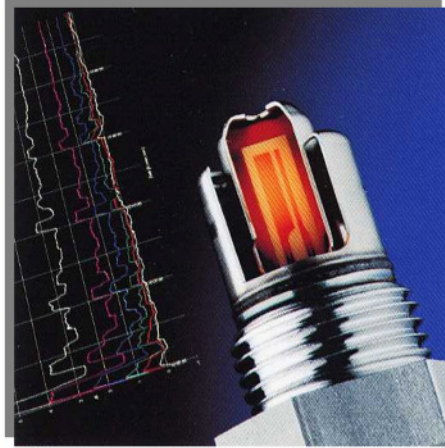
- Serieneinsatz seit > 20 Jahren
- Bis zu 2 Mio. Bauteile pro Woche



Werkbild Bosch

Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil

Beheizte Lambda-Sonde in Planartechnik



Vorteile:

- Betriebstemperatur wird in < 10 s erreicht
- Lebensdauer durch gleichmäßige Betriebstemperatur doppelt so hoch
- Sauerstoffgehalt kann in einem sehr breiten Messbereich quantitativ bestimmt werden
 - ⇒ Einsatz bei Magermotorkonzepten
 - ⇒ Einsatz in Dieselmotoren

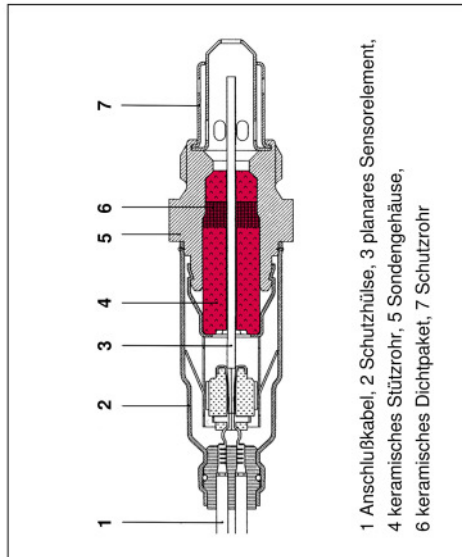
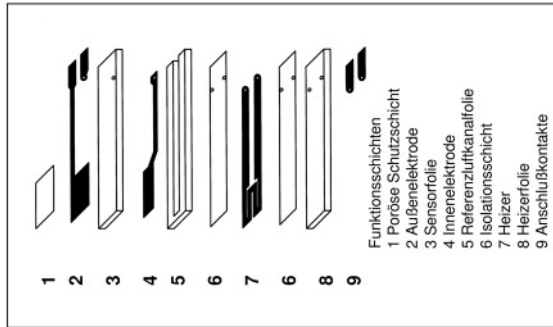
Mengen:

- ca. 85 Mill. Stück/Jahr

Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil



Aufbau planare Lambda-Sonde



Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil

Katalysator auf Basis keramischer Komponenten



Katalysator-Ringe aus Aluminiumtitanat
und Wabenkörper für Katalysatoren aus
Cordierit



Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil



Lagerbuchse für das Abgasregelventil

Werkstoff

- Stabilisiertes Zirkonoxid

Vorteile

- Temperatur- und Korrosionsbeständig
- Wärmeausdehnung an Stahl angepasst
- schmierungsfreie Lagerung

Status

- Serieneinsatz seit ca. 1994



Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil

Rußpartikelfilter aus Siliziumkarbid für Diesel – Kfz

Vorteil:

- Drastische Reduzierung der Emission von Rußpartikeln

Status:

- Großserie seit einigen Jahren



- 01: Filterblock aus SiC
- 02: Temperatursensor
- 03: Messung der Druckverhältnisse

Quelle: Volkswagen Magazin 04.2003

Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil



Rußpartikelfilter aus Siliziumkarbid für Diesel – Kfz
Vergleich der Partikelmengen



Quelle: ADACmotorwelt/Sept. 2001

Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil

Keramische Ventilplatte für die Hochdruckpumpe im Common-Rail-System

Vorteile:

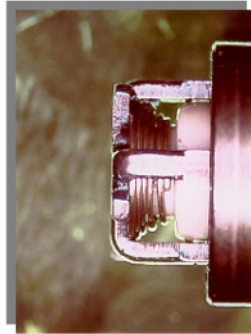
- Formstabilität bei gleichzeitiger Gewichtsreduzierung
- Verschleißbeständigkeit

Werkstoff:

- Siliziumnitrid

Status:

- Serie (Peugeot 307)



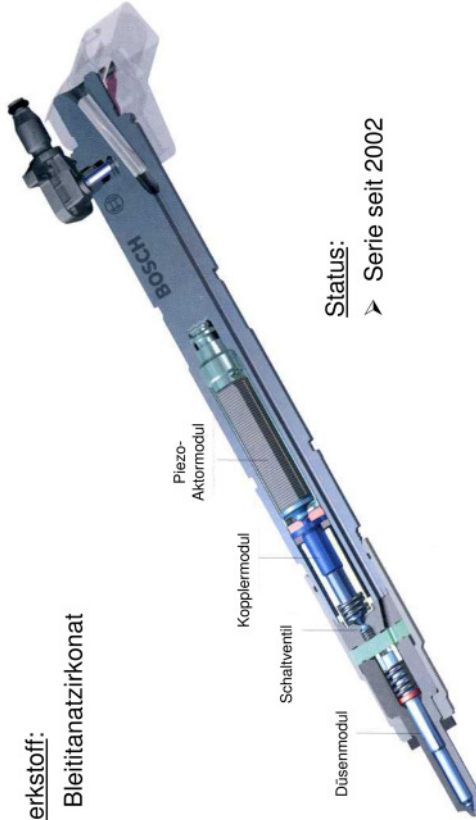
Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil



Piezo-Inline-Injektor für die Dieseldirekteinspritzung

Werkstoff:

- Bleititanatzirkonat



Status:

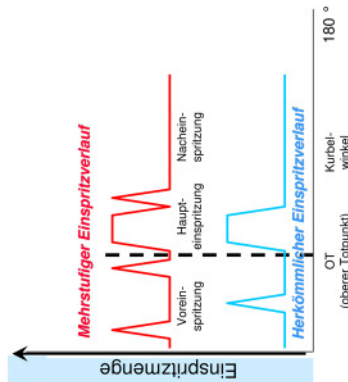
- Serie seit 2002

Quelle: Robert Bosch GmbH

Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil

Vorteile der Dieseldirekteinspritzung (Comon-Rail) mit Piezo-Aktoren

Einspritzcharakteristik Common-Rail



Piezo-Aktor (PA) vs. Magnetventil (MV)

- Schaltzeit PA mit hoher Wiederholgenauigkeit 4x schneller als MV!**
 - äußerst präzise Dosierung kleinster Kraftstoffmengen
 - exakteres Einspritz-Timing
 - mehrere Vor- bzw. Nachspritzungen(bis 6) möglich
 - drastische Reduzierung der Schallpausen
 - Optimale Einstellung des Einspritzprofils**
- Konsequenzen (Kundennutzen)**
 - Reduzierung Abgasemission (NO_x , HC, Ruß); (2005: EURO 4)
 - Verminderung des Geräuschpegels
 - Verbrauchsreduzierung
 - Verbesserung Durchzugsverhalten

Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil

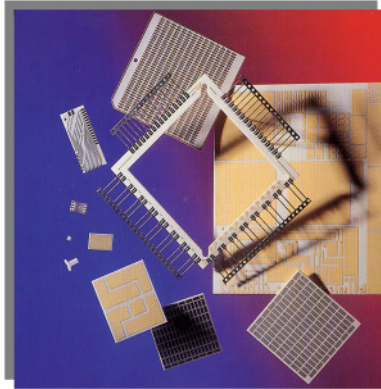


Keramische Substrate für die Hochleistungselektronik

Gepresst/gestanz/gelasert



Metallisierte Substrate



Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil

Keramische Substrate für die Hochleistungselektronik

Werkstoffe

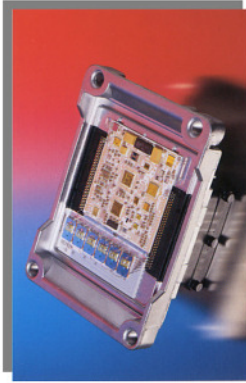
- Aluminiumoxid
- Glaskeramik (LTC)
- Aluminiumnitrid

Vorteile

- Temperaturbeständigkeit
- Hohe Wärmeleitfähigkeit (insbesondere AlN)
- Höhere Leistungsdichte

Status

- Großserie im Automotivbereich
- Diverse Applikationen in der HL-Elektronik



Werkbild Bosch



Werkbild Bosch

Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil



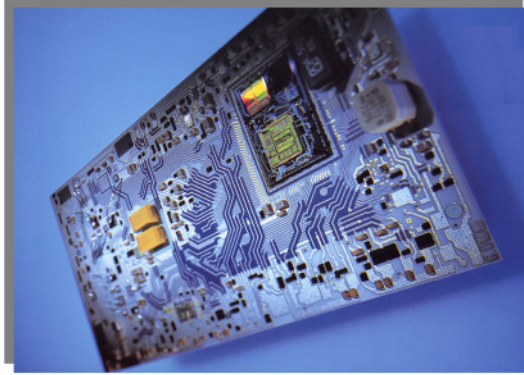
Hybridschaltung für stufenloses Automatikgetriebe

Werkstoff

- Aluminiumoxid

Vorteil

- Höhere thermische und elektronische Belastung
- Höhere Integrationsdichte



Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil

Sensor zur optimalen Motornutzung (Klopfsensor)

Werkstoff:

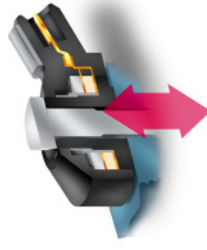
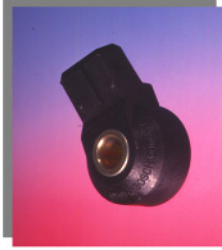
- Piezokeramik

Vorteile:

- Motor kann nahe der Klopfgrenze betrieben werden
- Dadurch optimaler Wirkungsgrad
- Geringerer Kraftstoffverbrauch

Status:

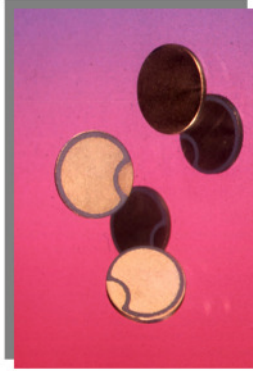
- Großserie seit vielen Jahren



Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil



Rückfahrsensor für Luftultraschall-Abstandsmessungen



Material:

- Piezokeramik

Status:

- Großserieneinsatz > 8 Jahre

Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil

Benzin-Direkteinspritzung mit Piezo-Injektor

Werkstoff:

- Piezokeramik

Vorteile:

- Geringerer Kraftstoffverbrauch durch Mehrfacheinspritzung
- Höheres Drehmoment
- Geringere Abgasemission

Status:

- Entwicklung



Quelle: MTZ-Motortechnische Zeitung, 5/2004

Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil



Aktive Schwingungsdämpfung durch adaptive Systeme

Werkstoffe:

- Faserverbundwerkstoffe aus Piezokeramik

Funktion:

- Adaptive Systeme, die sich über selbstregelnde Mechanismen an unterschiedliche Betriebsbedingungen anpassen

Anwendungsmöglichkeiten:

- Lärmreduzierung im Kfz-Innenraum (Pkw-Dach)
- Lärmreduzierung bei Helikoptern
- Lärmreduzierung ICE



Einlaminierte Piezo-Fasern als Vorstufe für Sensormodule
Quelle: Fraunhofer Gesellschaft

Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil

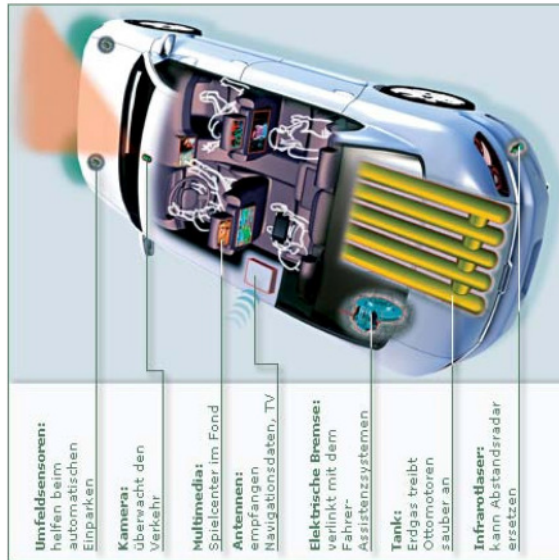
Das Auto der Zukunft?



Keramik im Auto – denn ohne ist man nicht mobil



Das Auto der Zukunft?



Quelle: Hart Wedling