

Die keramische Brennstoffzelle als Energiewandler für die Stromerzeugung im Auto

Dr. Franz-Josef
Wetzel
BMW Group
franz-josef.wetzel@bmw.de

Dr. Evelyn Proß
BMW Group
evelyn.pross@bmw.de

Dr. Günther
Schiller
DLR
guenter.schiller@dlr.de

Wasserstoff als Kraftstoff

Realistische Energie-, Umwelt- und Verkehrsszenarien gehen davon aus, dass das Automobil auch weiterhin Basis der Mobilität bleibt. Es wird jedoch in Zukunft neben Benzin auch mit anderen Kraftstoffen betrieben werden. Dabei stellen Erdgas und insbesondere Wasserstoff die saubersten Alternativen dar. Wasserstoff macht vor allem dann Sinn, wenn er mit Hilfe von regenerativem Strom umweltneutral aus Wasser hergestellt wird. Als Verbrennungsprodukt entsteht im Wesentlichen wieder der Ausgangsstoff Wasser.

Die BMW Group setzt mittel- und langfristig auf diese Option. Das Unternehmen sieht darin die beste Möglichkeit, optimale Schonung der Umwelt mit Mobilität verbinden zu können. Wegen seiner bestechenden Praxiseigenschaften gilt dabei der wasserstoffbetriebene Verbrennungsmotor als der Zukunftsantrieb [1].

Solange Wasserstoff als Kraftstoff in geeigneten Mengen praktisch noch nicht verfügbar ist, bietet sich das ungiftige Erdgas über die kommenden Jahrzehnte als erdölschonende und umweltfreundliche Zwischenlösung an: Mit Erdgas betriebene Motoren emittieren beispielsweise rund 20 % weniger klimarelevantes CO₂ und 80 % weniger ozonbildende Kohlenwasserstoffe. Damit können die strengen kalifornischen Grenzwerte für „Ultra Low Emission Vehicles“ schon heute erfüllt werden. Gleichzeitig ist die Technologie von Erdgas- und Wasserstoffmotoren ähnlich. Deshalb war die BMW Group der erste europäische Automobilhersteller, der serienmäßig gefertigte Erdgasautomobile am Markt anbot und damit den ersten konsequenten Schritt in Richtung Wasserstoffautomobil gezielt vollzog.

Zur Darstellung zukunftssträchtiger Antriebssysteme für Benzin, Diesel und Wasserstoff werden sowohl in den Unternehmen als auch in der Öffentlichkeit verschiedene Lösungsansätze vertreten. Die BMW Group favorisiert hierbei eine Strategie, bei der die Zahl von Energieumwandlungsschritten und der zugehörigen Bauteile auf einem Minimum gehalten werden. Die Abb. 1 zeigt den Paradigmenwechsel in der Stromversorgung [2].

Brennstoffzellen-APUs

Unabhängig vom Kraftstoff ergibt sich das gemeinsame Optimum von Mobilität und energetischer Effizienz der Transportleistung, durch eine geschickte Aufteilung der Leistungsbereitstellung für den Vortrieb und für die Nebenaggregate des Fahrzeugs.

Bei diesem Konzept wird der Verbrennungsmotor von möglichst vielen Aufgaben zur Bereitstellung von Hilfsenergien befreit. Er kann somit für seine Aufgaben als Energiewandler für den Antrieb optimiert werden (Abb. 2).

Wenn sinnvoll, werden die Nebenaggregate des Automobils elektrifiziert und können dadurch noch bedarfsgerechter als bisher betrieben werden. Sinnvoll ist dies jedoch nur, wenn das zeitliche Integral über die typischen Nutzungstechniken einen geringeren Energieverbrauch ergeben, oder wenn sich bei gleichem Verbrauch aus Kundensicht signifikante Nutzungsvorteile ergeben – z. B. hinsichtlich Komfort.

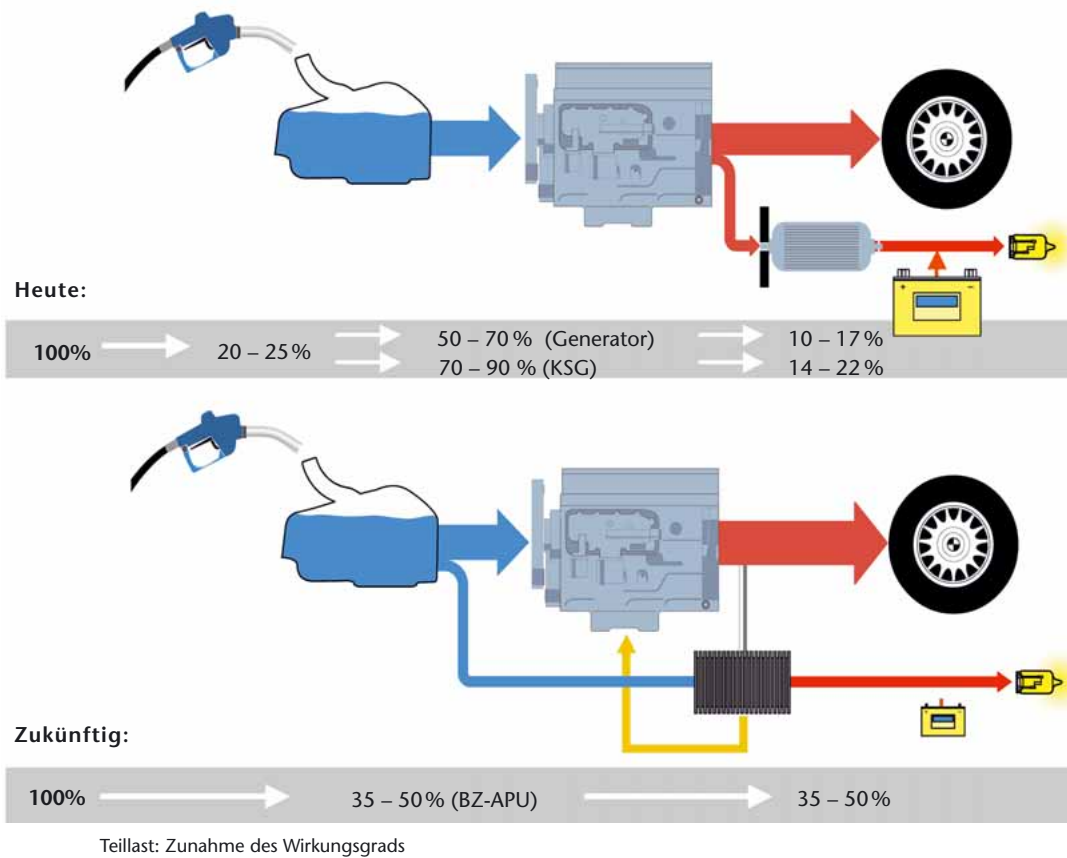


Abbildung 1
 Paradigmenwechsel in der Stromversorgung:
 Die Prozentangaben bezeichnen den durchschnittlichen Wirkungsgrad.

Die Jahresenergiebilanz elektrifizierter Nebenaggregate wird gegenüber den ausgereiften heutigen Systemen in der Regel nur dann besser sein, wenn die Bereitstellung der elektrischen Energie mit signifikant höherem Wirkungsgrad erfolgt, als dies durch die bisherige Technologie der keilriemengetriebenen Generatoren möglich ist.

Die BMW Group sieht für diesen Zweck eine sinnvolle Einsatzmöglichkeit von Brennstoffzellen auch wenn sie heute im Vergleich mit guten Hubkolbenmotoren leistungsbezogen immer noch sehr kostenintensiv sind.

Will man Brennstoffzellen schon im Benzin- und Dieselzeitalter eine Marktchance eröffnen, so benötigen diese Gasbereitstellungsanlagen geringes Gewicht, kleines Volumen und geringe Kosten. Eine Eigenschaftsbewertung verschiedener Bauformen von Brennstoffzellen als Hilfsenergie-Bereitstellungsanlagen (Auxiliary Power Unit, APU, [2]) ergibt signifikante Vorteile für

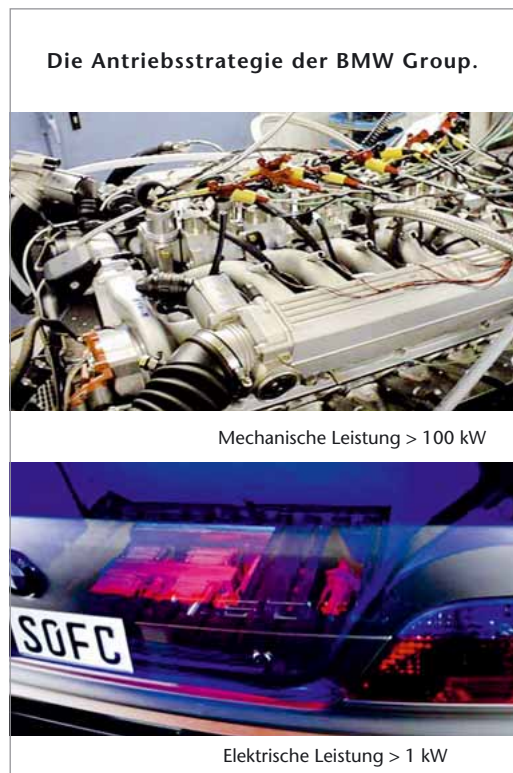


Abbildung 2
 Jedes System macht was es am besten kann: Wasserstoffmotor und Brennstoffzelle für die Stromversorgung.

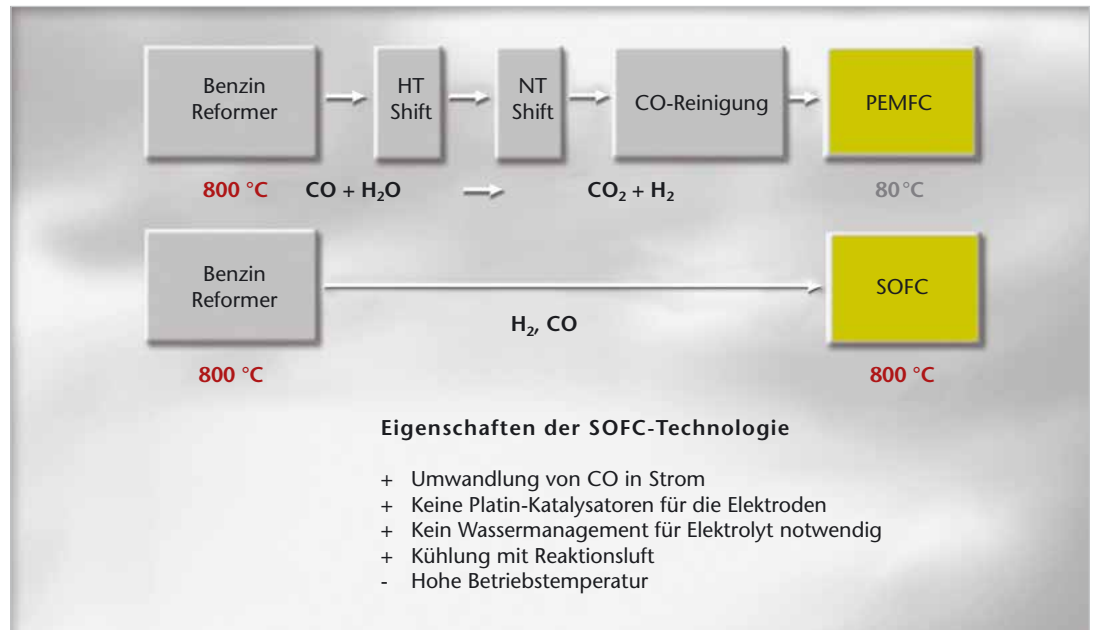


Abbildung 3
Vergleich PEMFC
mit SOFC im
Benzinbetrieb

die keramische Variante, welche allerdings erst bei Temperaturen oberhalb von ca. 650 °C funktioniert (Abb. 3). Daraus resultiert jedoch ihr Hauptnachteil. Sie kühlt bei längeren Betriebspausen aus. Werkstoffbedingt verträgt sie beim Wiederhochheizen thermomechanische Spannungen nur in begrenztem Maße. Daraus resultiert, dass trotz automobilerorientierter Aus-

legung des Brennstoffzellenblocks bei Abkühlung der APU auf Umgebungstemperatur einige Minuten Anwärmzeit in Kauf genommen werden müssen.

Die Lebensdauer der einzelnen Brennstoffzellen unter automobilen Betriebsbedingungen spielt eine zentrale Rolle. Sie hängt sowohl von der

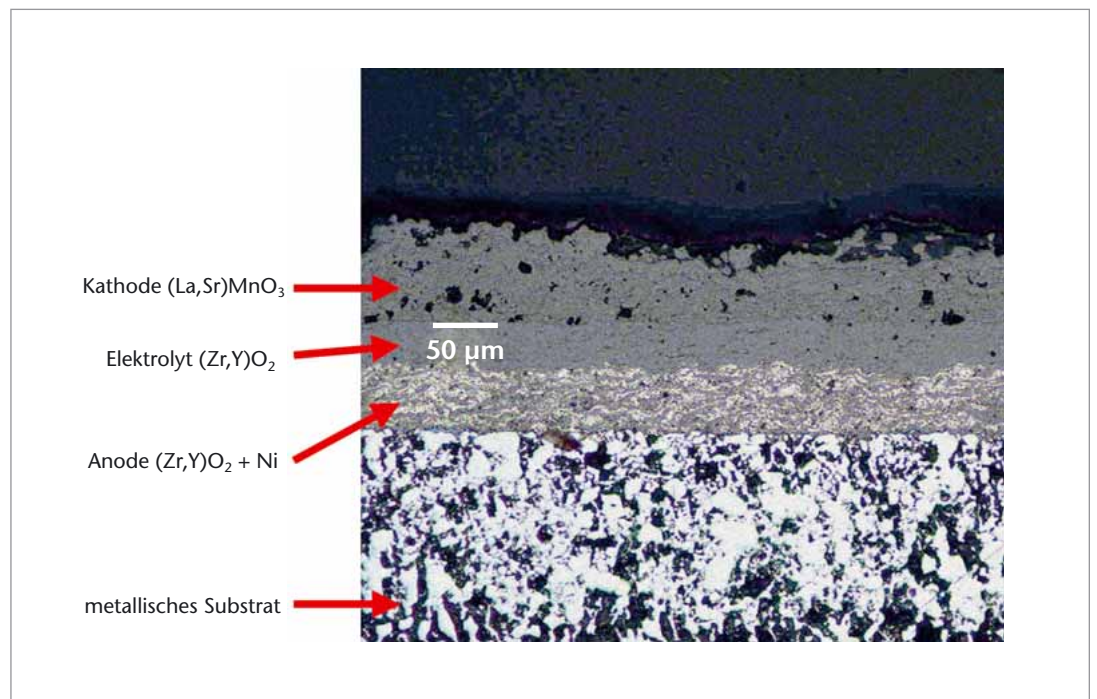


Abbildung 4
Schnitt durch
eine plasmage-
spritzte SOFC
Quelle: DLR

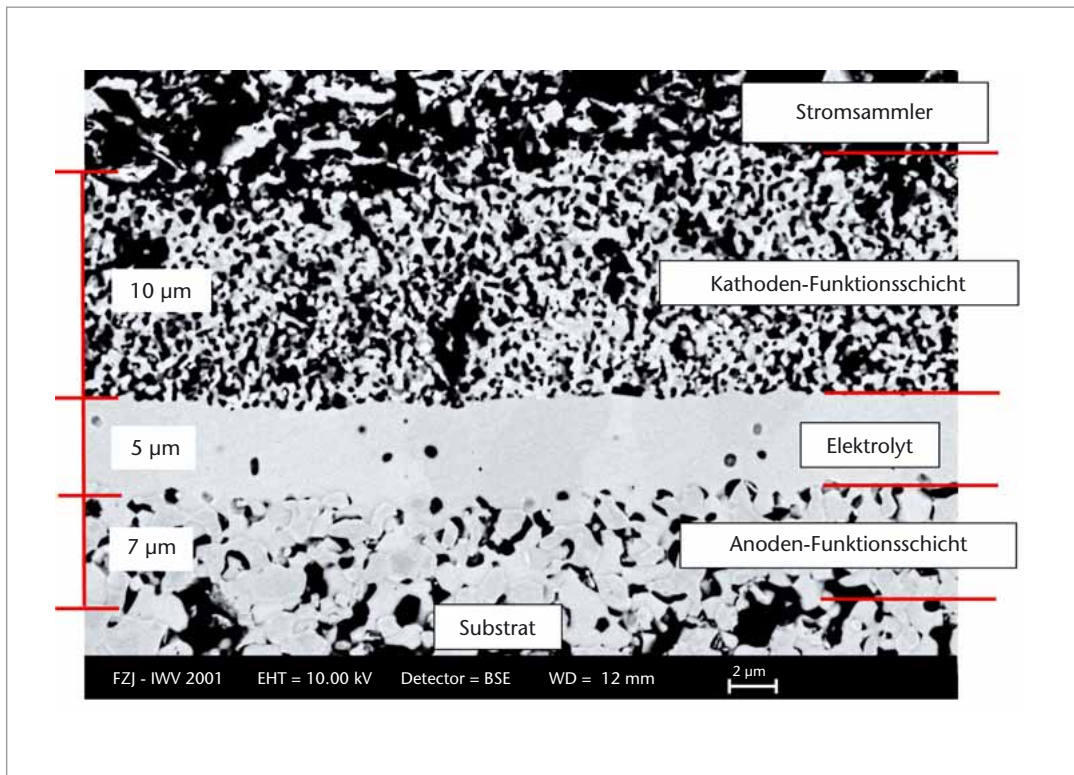


Abbildung 5
Schnitt durch
eine gesinterte ASC
(Anode Supported Cell)
Quelle: FZ Jülich

Herausforderungen

- Entwicklung von Komponenten, die gegenüber Last- und Thermozyklen tolerant sind
- Verbesserung der Schnellstartfähigkeit
- Erhöhung der volumetrischen und gravimetrischen Leistungsdichte sowie der Lebensdauer
- Reduzierung der Kosten

Maßnahmen

- Wahl und Optimierung von Materialien und Fertigungsverfahren
- Änderung des Designs
- Anpassung der Betriebsweise

konstruktiven Auslegung als auch vom Herstellungsverfahren der keramischen Reaktionsschichten ab (Abb. 4 und 5). Diese Erkenntnisse wurden bereits frühzeitig in den Entwicklungsprozess der APU integriert (Tab.1).

Nach mehr als 10 Jahren Brennstoffzellen-Praxiserfahrung wurde nun die weltweit erste Brennstoffzellen-APU auf Basis einer keramischen Brennstoffzelle in einer Limousine der BMW 7er Reihe der Öffentlichkeit vorgestellt [3]. Diese benzinbetriebene APU wurde mittels einer isolierten Box im Bereich der bisherigen Ersatzradwanne in den Kofferraumboden integriert. Damit wurde ein integriertes Package-konzept von Karosserie, Fahrwerk und APU erreicht. Das System liefert eine Spannung von 42 V und erfüllt damit die Anforderungen zukünftiger Bordnetze.

Trotz der Erfolge gibt es weiterhin großen Forschungs- und Entwicklungsbedarf für Brennstoffzellen-APUs:

Die Brennstoffzellen-APU erschließt durch die motor- und batterieunabhängige Bereitstellung elektrischer Leistung neue Fahrzeugfunktionen,

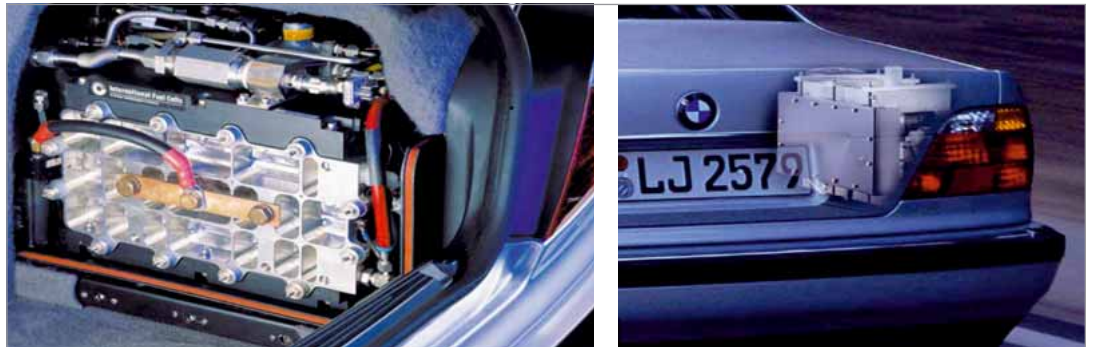
Tabelle 1
SOFC-Forschungsbedarf aus BMW-Sicht

auch bei dessen Fahrzeugstillstand [4]. So können z. B. zusätzlich zur Standheizungsfunktion u.a. die Sitze elektrisch vorgeheizt werden. Bei sommerlicher Hitze kann der Fahrgastraum via elektrisch betriebenem Klimakompressor bereits vor der Fahrt auf angenehme Temperaturen gebracht werden. Multimedia- und Kommunikationsanwendungen, wie z. B. das Internet, werden auch im Fahrzeugstillstand möglich. In einigen Jahren können die dann elektrifizierten Nebenaggregate eines Automobils sowohl im Fahrbetrieb als auch im abgestellten Zustand komforterhöhend und gleichzeitig verbrauchs-

optimal betrieben werden. Der zukünftig stark zunehmende Elektrizitätsbedarf der Fahrzeuge kann somit mit Brennstoffzellen-APUs gedeckt werden [4].

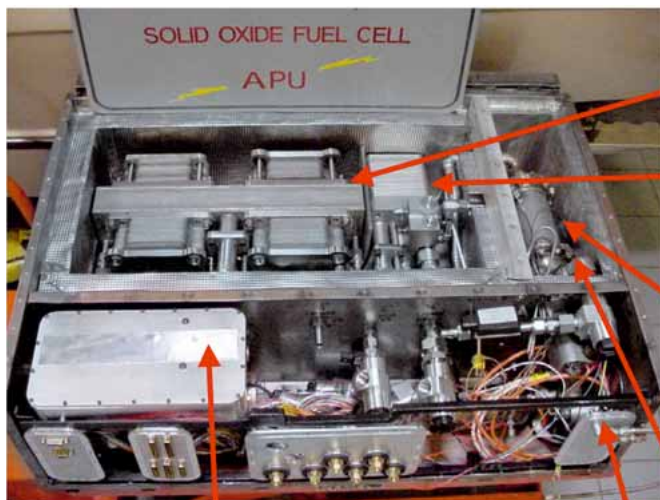
Pro Kilowatt Leistungsbedarf des elektrischen Bordnetzes erschließt die keramische Brennstoffzellen-APU einen Verbrauchsvorteil von mehr als 0,5 Liter Benzin oder Diesel pro hundert Kilometer. Hinzu kommt die Erschließung von Verbrauchsminderungspotenzialen durch die Optimierung der Verbrennungsmotoren auf ihre Antriebsaufgabe.

Abbildung 6
BMW 750 hl –
Wasserstofffahrzeug
mit Brennstoff-
zellen-APU (PEM)
in Kleinserie
Partner: IFC/UTI



Leistung: 5 kW_e / Spannung: 42 V / Wirkungsgrad: 35-50 % (Gesamtsystem)
Volumen: 20 l (Stack) 48 l (Gesamtsystem) / Gewicht: 22 kg (Stack) 45 kg (Gesamtsystem)

Abbildung 7
Brennstoffzellen-
APU für Benzinfahr-
zeuge. Delphi 1,5 kW
SOFC APU-Gesamt-
system („Hot-Box“)
der 1. Generation



Brennstoffzellen-Stack
Erzeugung elektrischer Energie
aus Reformat (H₂ und CO)

Energie-Rückgewinnung
Restgasverbrennung, Aufheizung Reaktionsluft

Hauptreformer
Aufheizung Stack, Erzeugung von Reformat
(20% H₂, 20% CO, 3% CH₄, Rest N₂)

Mikroreformer
Start Hauptreformer

Luft-Gebläse
Reaktionsluft und
Kühlluft

Kraftstoffversorgung

Literatur

- [1] CleanEnergy – Wasserstoffantrieb
Informationen der BMW Group,
D-80788 München

- [2] J. Tachtler, Thomas Dietsch and
Georg Götz
Fuel Cell Auxiliary Power Unit –
Innovation for Electric Supply of Passenger
Cars, 2000-01-0374; SAE 2000 World
Congress, Detroit, March 6-9, 2000

- [3] Andreas Klugescheid, Thomas Gubitze
BMW Group presents first car with petrol
fuel cell for onboard electricity supply
BMW Group, Corporate Communications,
Media Information, D-80788 Munich,
E-Mail: presse@bmw.de

- [4] Burkhard Göschel, Member of the Board
of Management of BMW Group,
R&D Presentation of the SOFC Prototype
Vehicle, Februar 16, 2001 BMW Group,
Corporate Communications, Media
Information, D-80788 Munich