

# MASCHINENBAU UND FAHRZEUG- TECHNIK

## Projektberichte

- 42 Schleifkörper und poröse Keramiken: Der E-Modul als Festigkeitskriterium
- 44 Komplexe Bauteile aus Siliziumcarbid durch drucklose Gießformgebung
- 46 Nanoskalige Werkzeugwerkstoffe für Fertigungsaufgaben im Maschinenbau
- 47 Phased-Array-Ultraschallprüfsystem für die Radsatzvollwellenprüfung
- 48 Prozessüberwachung von Hydraulikkomponenten
- 49 Automobilelektronik – Materialien und Zuverlässigkeit

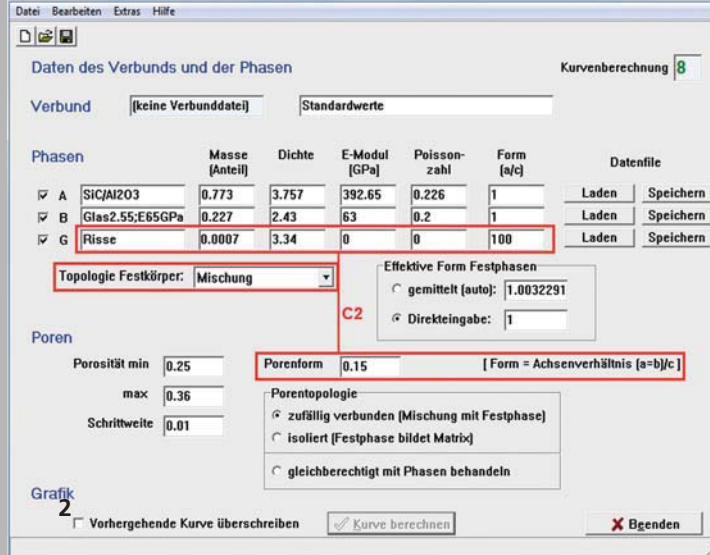
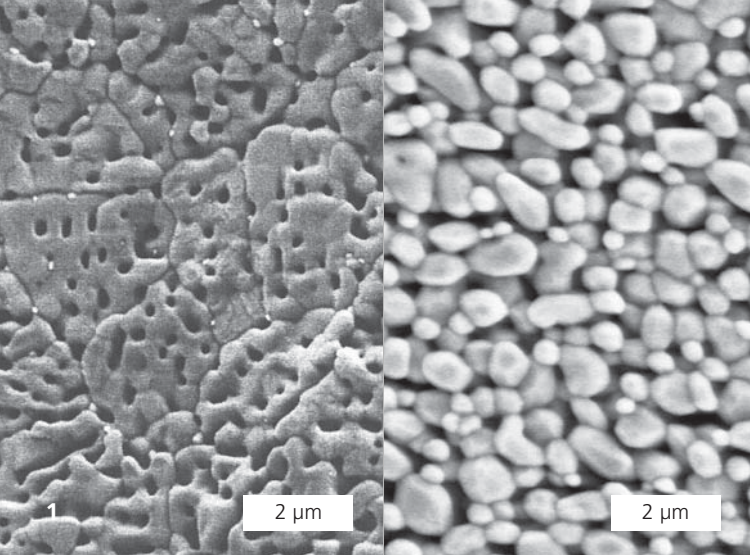
Das Geschäftsfeld »Maschinenbau und Fahrzeugtechnik« des Fraunhofer IKTS bietet traditionell Verschleißteile und Werkzeuge sowie spezifisch beanspruchte Bauteile aus Hochleistungskeramiken, Hartmetallen und Cermets für den Maschinen-, Anlagen- und Fahrzeugbau. Einen neuen Schwerpunkt bilden optische, elastodynamische und magnetische Prüfsysteme für die Überwachung von Komponenten und Fertigungsanlagen.

Steigende Energie- und Rohstoffpreise, der verschärfte internationale Wettbewerb und die verstärkten Forderungen nach Nachhaltigkeit stellen heute große Herausforderungen für den Maschinen- und Anlagenbau dar. Im Fahrzeugbau spielen zudem immer strenger werdende Abgasnormen eine Rolle. Durch den Einsatz von Komponenten aus Hochleistungskeramik können entscheidende Verbesserungen in bestehenden und neuen Systemen erreicht werden.

Das Fraunhofer IKTS unterstützt seine Kunden bei der applikationsorientierten Werkstoffauswahl und -entwicklung, wobei sowohl etablierte Materialsysteme als auch neue Kombinationen zum Einsatz kommen. Die Mitarbeiter verfügen über langjährige Erfahrungen in der keramik- und hartmetallgerechten Auslegung von Bauteilen und ein umfangreiches Know-how hinsichtlich der wirtschaftlichsten Herstellverfahren und der erfolgreichen Integration in das Anwendersystem. Neue Ideen für Anwendungen werden so schnell und kostengünstig in Prototypen und Kleinserien umgesetzt. Bei der Auswahl des Herstellungsprozesses kann auf eine im internationalen Maßstab herausragende Bandbreite an keramischen Fertigungsverfahren zurückgegriffen werden. Die vorhandene Ausrüstung erlaubt ein Hochskalieren der Prozesse über den Technikumsmaßstab bis hin zur Überführung in die industrielle Fertigung.

Prüf- und Monitoringsysteme überwachen den Betriebszustand von Komponenten und Anlagen. Frühzeitig erkennen und lokalisieren sie Defekte. Dafür steht ein breites Portfolio an einzigartigen Methoden zur zerstörungsfreien Erfassung von kritischen Materialparametern wie Faser- und Gefügestrukturen, Spannung, Porosität, Rissbildung oder Delaminationen zur Verfügung. Die Signale werden detektiert, über eigene leistungsfähige Hardwarekomponenten verarbeitet und durch die im Haus entwickelte Software visualisiert und ausgewertet.





# SCHLEIFKÖRPER UND PORÖSE KERAMIKEN: DER E-MODUL ALS FESTIGKEITSKRITERIUM

Dr. Andreas Krell, Dipl.-Ing. Thomas Hutzler

Nicht nur poröse Keramiken für Filtration oder Katalyse sondern auch kompakte Schleifkörper benötigen eine hohe offene Porosität, unterliegen aber weit stärkeren Belastungen. Die Sicherung mechanischer Zuverlässigkeit ist deshalb für den technischen Einsatz maßgeblich. In der Schleifkörperfertigung gilt oft der Elastizitätsmodul (E-Modul) als einfach messbares Qualitätskriterium. Bei Neuentwicklungen ist zunächst unbekannt, welcher theoretische E-Modul einer neuen Zusammensetzung oder einer durch ein modifiziertes Brennregime veränderten Porenform im Erfolgsfall zuzuordnen ist.

Jede modellierende Berechnung muss hierzu die Vielzahl unterschiedlicher theoretischer Ansätze zur Beschreibung des E-Moduls in Abhängigkeit von Porosität, Porenform und Porenanordnung beachten. So weist z. B. das im linken Teil von Bild 1 gezeigte Gefüge mit isolierten Poren in kontinuierlicher Matrix bei gleicher Porosität einen offenkundig höheren E-Modul mit höherer mechanischer Stabilität auf als die rechts gezeigten partiell miteinander versinterten Partikel.

In Schleifkörper-Gefügen (Bild 3 und 4) werden unterschiedliche Brenntemperaturen und resultierende Viskositätsänderungen des als körniges Pulver zugesetzten Glasbinders die Topologie des Binders und die Form der Porenkanäle steuern. Andererseits sind natürlich auch die Zusammensetzungen der Schleifkörper mit den E-Modulen und Poisson-Zahlen der Komponenten zu berücksichtigen, z. B. wenn nominelle Diamant-Scheiben zusätzliches Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Stützkorn enthalten oder dem Glasbinder eine feine Hartstoffkomponente als Verstärkung zugesetzt wird.

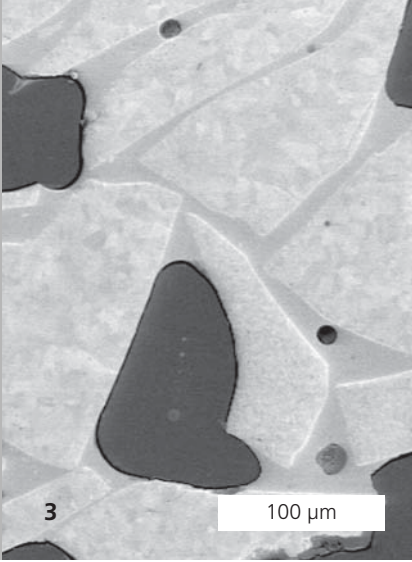
Im Auftrag des Fraunhofer IKTS wurde an der TU Dresden von Dr. W. Kreher auf Basis umfangreicher theoretischer Entwicklungen [1] ein auf Windows-Rechnern nutzbares Modellierungsprogramm entwickelt, das mit IKTS-Datensätzen u. a. zu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC, Diamant und unterschiedlichen Glasbindern die Berechnung effektiver E-Modulen und Poisson-Zahlen beliebiger

Hartstoffkombinationen erlaubt. Für kompakte Schleifkörper (Bild 4) oder andere poröse Teile (Bild 5) wird die Vorhersage des Porosität-E-Modul-Zusammenhangs unter Anpassung an unterschiedliche Brennregime, d. h. unterschiedliche Binder- und Poren-Konfigurationen, dadurch realisiert, dass die in Bild 2 gezeigte Eingabemaske folgende Unterschiede berücksichtigen kann:

- Unterschiedliche Formfaktoren der Glasbinderkomponente,
- Behandlung des Glasbinders als mit den Hartstoffpartikeln gleichberechtigte »Mischung« oder als »Matrix« sowie
- Eingabe eines Formfaktors für die Poren (Werte < 1 kennzeichnen längliche Kanäle) und Auswahl unterschiedlicher Poren-Topologien.

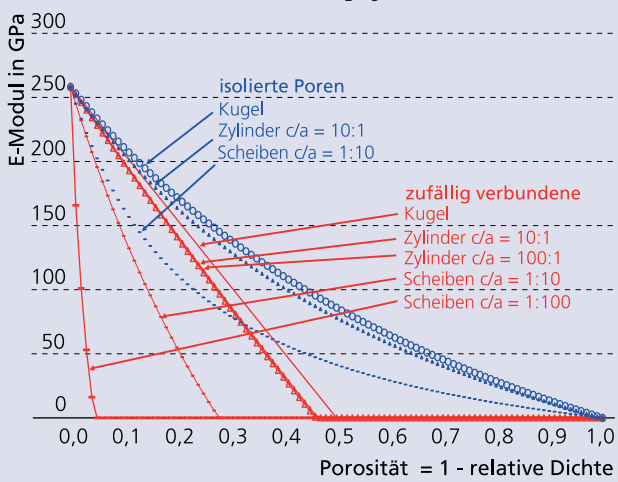
Falls erforderlich, kann zur Beschreibung fehlerhafter Körper auch eine eventuelle Defektpopulation berücksichtigt werden (im Eingabebeispiel: »Risse«).

Das erste Diagramm zeigt beispielhaft für Schleifkörper aus 60 Ma.-% Korund (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 25 % kubischem Bornitrid (CBN) und 15 % Glasbinder den Einfluss unterschiedlicher Poren-Anordnung und Poren-Form auf die Abhängigkeit des E-Moduls von der Porosität (blau: Modell des effektiven Felds [Topologie Bild 1, links]; rot: Modell des effektiven Mediums für verbundene Poren [Topologie Bild 1, rechts]). Das zweite Diagramm demonstriert, wie der Vergleich gemessener und berechneter E-Modulen von Schleifkörpern aus 63 Ma.-% Korund (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 14 % Siliziumcarbid (SiC) und 23 % Glasbinder auf eine hier noch zu niedrige Sinterung dieser bei 880 °C gebrannten Körper weist. Übereinstimmung wird unter der Annahme zylinderförmiger Porenkanäle erzielt, wenn der Glasbinder noch keine dünne, die Hartstoffpartikel umhüllende Matrix gebildet hat und der Schleifkörper eine (geringe) Riss-häufigkeit enthält.



MASCHINENBAU UND FAHRZEUGTECHNIK

Einfluss unterschiedlicher Porenstrukturen auf die Abhängigkeit des E-Moduls von der Porosität am Beispiel eines glasgebundenen CBN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Schleifkörpers



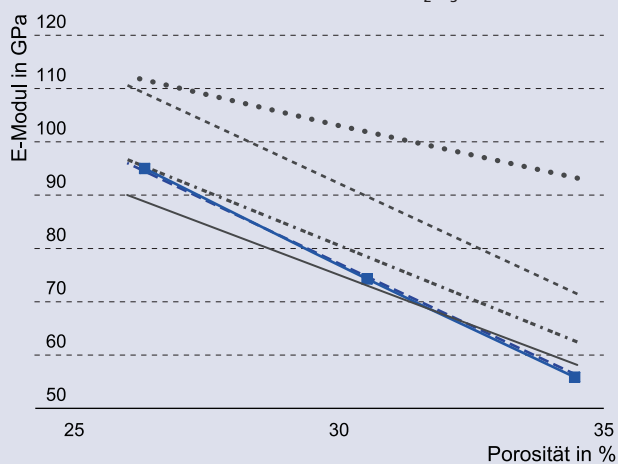
Leistungs- und Kooperationsangebot

- E-Modul/Porositäts-Modellierung komplexer Schleifkörper und anderer keramischer Teile in Abhängigkeit von Zusammensetzung und Gefüge-Topologie
- Entwicklung von Schleifkörpern und porösen Keramiken mit Festigkeitsanforderungen

Quellen

[1] W. Kreher, W. Pompe, Internal Stresses in Heterogeneous Solids, Akademie-Verlag, Berlin, 1989

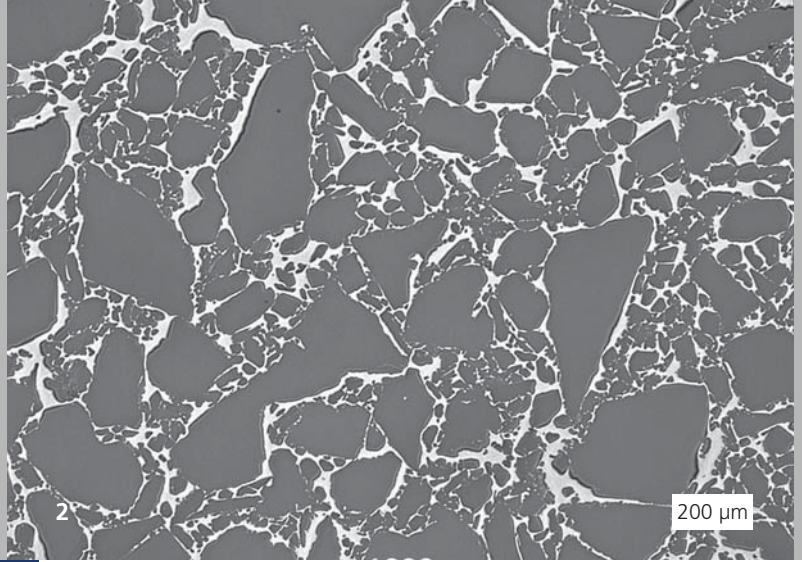
Vergleich real gemessener und für verschiedene Poren- bzw. Defektstrukturen modellierter E-Moduln am Beispiel eines glasgebundenen SiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Schleifkörpers



- ..... Modell B: Glas = Matrix, isolierte Poren
- Modell C1: Glasphase punktuell
- Modell D: Glasphase punktuell, als dünner Film
- Modell C2: Glasphase punktuell, Zylinder-Poren, +0,07 % Risse
- Experiment
- Modell A: Glas = Matrix, verbundene Poren

- 1 Poröse Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gefüge mit unterschiedlichen Porenstrukturen, zu beschreiben mit Modell des »effektiven Felds« (links) bzw. des »effektiven Mediums« (rechts).
- 2 Eingabemaske zur E-Modul-Berechnung.
- 3 Komplexes Schleifkörpergefüge aus polykristallinem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Schleifkorn, Glas-Binder (grau) und Poren (dunkel).
- 4 Kompakte Schleifscheibe zur Metallbearbeitung.
- 5 Defektarme, mittels Gießverfahren und Sinterung erzeugte poröse Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Rohre als Substrate für Filtrationsmembranen.





# KOMPLEXE BAUTEILE AUS SILIZIUMCARBID DURCH DRUCKLOSE GIESSFORMGEBUNG

Dipl.-Ing. Steffen Kunze, Dipl.-Krist. Jörg Adler, Dr. Uwe Petasch

## Ausgangssituation

Durch die quasi schwindungsfreie Herstellung eignet sich siliziuminfiltriertes Siliziumcarbid (SiSiC) für die Produktion komplexer und großvolumiger keramischer Bauteile. Als Urformverfahren bieten sich hierfür sowohl das Schlickergießen als auch die spanende Formgebung aus isostatisch verpressten SiC-Grünkörpern an. Für die Erzeugung von Komponenten mit großen Wandstärkeunterschieden und/oder anspruchsvollen Hinterschnidungen stoßen diese konventionellen Herstellungsvarianten jedoch an ihre verfahrenstechnischen Grenzen. Die Fertigung von Bauteilen mit solchen anspruchsvollen geometrischen Anforderungen ist derzeit nur durch Modulbauweisen und der Verfahrenskombination mit Garnierprozessen möglich, welche mit einem erheblichen kostenintensiven Material-, Maschinen- und Personalaufwand verbunden sind.

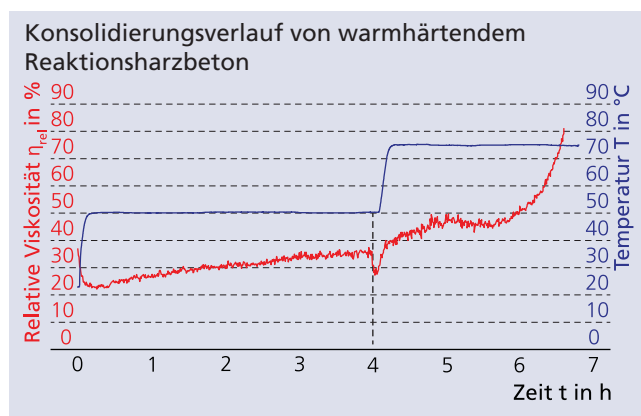
## Lösungsansatz

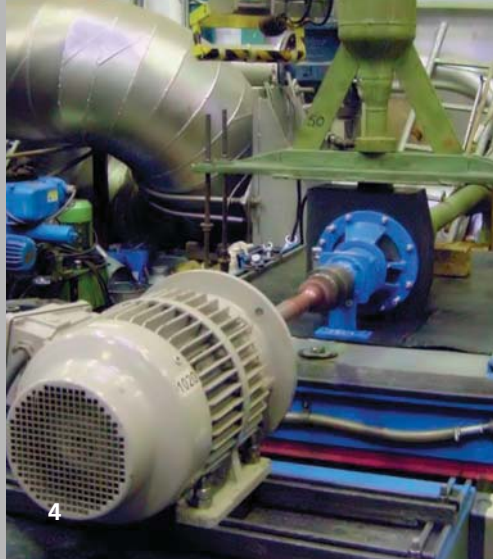
Eine Methode zur Erweiterung der Formgebungsmöglichkeiten sowie der kostengünstigeren Herstellung von SiSiC-Komponenten bietet die Adaption des Produktionsverfahrens für Reaktionsharzbetone an die keramische Fertigung.

Reaktionsharzbetone, die überwiegend aus einer Mischung eines polymeren Bindemittelsystems mit grobkörnigen SiC-Partikeln bestehen, lassen sich drucklos in offene Formen gießen und härten. Die Verwendung von Elastomeren oder Wackskernen in der Gießform ermöglicht bei diesem Verfahren die Herstellung großer und komplexer Grünkörper mit Hinterschnidungen und Wandstärkeunterschieden in einem Arbeitsschritt.

Der Erfolg der Gießformgebung ist dabei wesentlich vom Bindemittel sowie dem Konsolidierungsverlauf der Reaktionsharzbetone abhängig. Während der teils mehrere Stunden andauernden Gießprozesse, ist die Einhaltung einer ausreichenden Topfzeit des Harzsystems erforderlich. Zur Verhinderung von Sedimentationsprozessen der Füllstoffe muss das Bindemittel im Anschluss an den Formfüllvorgang jedoch in der Lage sein zügig zu konsolidieren. Des Weiteren benötigt das Harzsystem eine hohe Kohlenstoffausbeute bei der Pyrolyse.

Für die Umsetzung des Anforderungsprofils kommt ein Novolak mit einer massenbezogenen Kohlenstoffausbeute von ca. 40 % zum Einsatz. Dessen Vernetzung wird durch eine im IKTS entwickelte Kombination von aminischen (Hexamethylen-tetramin) und epoxidischen (Bisphenol-A-diglycidylether) Härtern durchgeführt. Diese ermöglichen die Warmhärtung des Phenolharzes schon bei sehr niedrigen Temperaturen unterhalb von 80 °C, was eine Voraussetzung für die Verwendung von Wachs- und Elastomerformteilen darstellt. Im Anschluss an die Konsolidierung werden die Reaktionsharzbetone in zwei Arbeitsschritten zu SiSiC überführt. Während einer Pyrolyse wandelt sich unter der Abspaltung niedermolekularer Verbindungen bei Temperaturen bis 900 °C die polymere Matrix in Glaskohlenstoff um. Im Anschluss daran wird der poröse SiC-Formkörper mit flüssigem Silicium infiltriert wobei der Kohlenstoffbinder mit diesem zu einer sekundären SiC-Phase reagiert.





## MASCHINENBAU UND FAHRZEUGTECHNIK

Bei der Pyrolyse und Silizierung beträgt die Längenabnahme der hochgradig mit SiC gefüllten Gussteile lediglich 0,1 %. Das dementsprechend quasi schwindungsfrei herstellbare SiSiC zeichnet sich durch sein sehr grobkörniges Gefüge mit Korndurchmessern von teils über 1000 µm aus. Die mechanischen Eigenschaften des SiSiC-Werkstoffs sind dennoch sehr gut. Die auf ein Einheitsvolumen von 1 mm<sup>3</sup> korrelierte Weibullfestigkeit beträgt 175 MPa bei einem Weibullmodul von 17. Die Risszähigkeit liegt mit einem Wert von 2,8 MPa·√m, ebenso wie die erreichte Dichte von 3,05 g/cm<sup>3</sup>, im Bereich konventioneller SiSiC-Keramiken. Das Material zeichnet sich generell durch eine sehr hohe Härte und Verschleißbeständigkeit aus. Es ist weiterhin gasdicht, chemikalienbeständig gegen Säuren und Lösemittel, temperaturbeständig bis ca. 1300 °C und besitzt bei Raumtemperatur eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit von ca. 150 W/(m·K).

### Technische Anwendungen

Die Wirtschaftlichkeit des Herstellungsverfahrens ermöglicht unter anderem im Chemie- und Anlagenbau die Substitution konventioneller Werkstoffe. Durch die herausragenden chemischen, thermischen und tribologischen Eigenschaften von SiSiC lassen sich dadurch vor allem die Standzeiten von Maschinen und/oder deren Produktivität steigern.

Als erste Anwendungen wurden daher, gemeinsam mit den Unternehmen SICcast Mineralguß GmbH und Düchting Pumpen GmbH, Radialpumpenlaufräder gefertigt. Für die Gießformgebung sind dabei auch industrielle Anlagen zur Herstellung von Reaktionsharzbetonen mit Batchgrößen von bis zu 600 kg erfolgreich getestet worden. Die Einsatzgebiete solcher keramischer Pumpen liegen vor allem in Anwendungen, die bei sehr hohen Temperaturen verarbeitungstechnisch anspruchsvolle Medien, wie etwa korrosive Chemikalien oder hochgradig mit abrasiven Partikeln angereicherte Suspensionen, fördern. Derzeit befindet sich ein Radialpumpenlaufrad mit einem Außendurchmesser von 436 mm, einer Lastdrehzahl von ca. 1000 1/min und Nennleistung von ca. 90 kW als Prototyp im Langzeittest. Im Anschluss daran können Aussagen bezüglich der Verschleißbeständigkeit sowie der zu erwartenden Standzeitverlängerung in konkreten Anwendungen im Vergleich mit konventionellen Werkstoffen getroffen werden.

Neben der Pumpenindustrie liegen weitere potentielle Anwendungsgebiete in der Herstellung von Düsen, Mühlen, Rekupe-ratoren oder Brennern. Aufgrund der hohen Steifigkeit und niedrigen Längenausdehnungskoeffizienten eignet sich diese Keramik beispielsweise auch zur Herstellung von Gehäusen und Trägersystemen in Hochpräzisionsanwendungen der optischen Industrie.

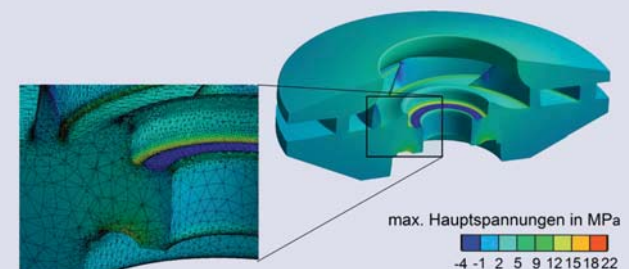
### Danksagung

Die vorgestellten Arbeiten sind Ergebnisse aus Gemeinschaftsprojekten mit den Firmen SICcast GmbH und Düchting Pumpen GmbH. Wir bedanken uns beim Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie für die Förderung im Rahmen des ZIM Projekts KF2087322LL1.

### Leistungs- und Kooperationsangebot

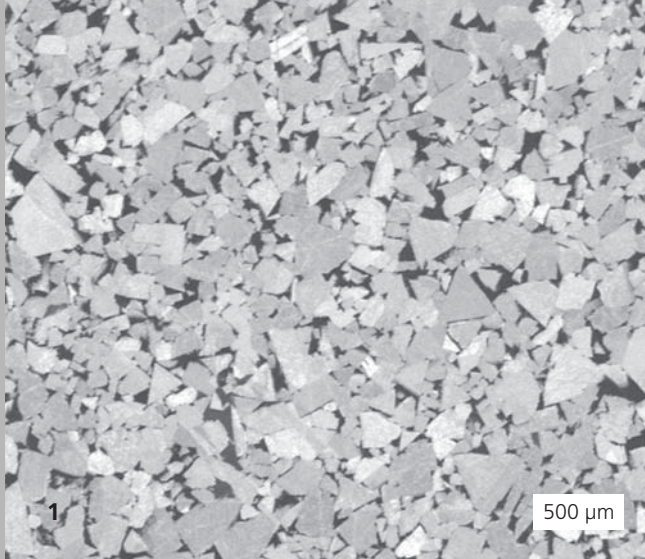
- Verfahrens- und Systementwicklung für Reaktionsharzbetone und Strukturkeramiken aus SiSiC
- Auslegung und Anfertigung von Applikationsmustern und Prototypen
- Bauteil- und Werkstoffcharakterisierung

### FEM-Simulation der Spannungsverteilung im Bauteil



- 1 Verfüllvorgang des Reaktionsharzbetons.
- 2 Gefügedarstellung des grobkörnigen SiSiC-Werkstoffs.
- 3 Keramisches Radialpumpenlaufrad as fired (Durchmesser 250 mm).
- 4 Pumpenprüfstand des Partners Düchting Pumpen GmbH.
- 5 Umlenkdüse (350 x 250 x 250 mm<sup>3</sup>).





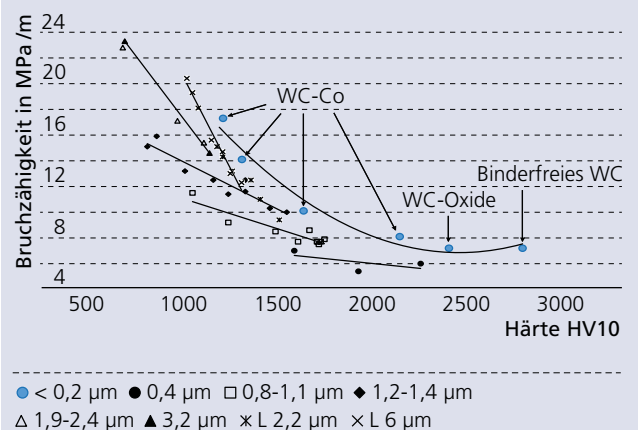
# NANOSKALIGE WERKZEUGWERKSTOFFE FÜR FERTIGUNGSAUFGABEN IM MASCHINENBAU

Dipl.-Ing. Johannes Pötschke

Für anspruchsvolle Fertigungsaufgaben wie die Zerspaltung von Titan- und Nickelsuperlegierungen, die Bearbeitung gehärteter Stähle, das Drehen und Fräsen von Hartmetallen oder Keramiken sowie das Präzisionsblankpressen von Glas werden neue und besonders leistungsfähige Werkzeugwerkstoffe benötigt. In der Arbeitsgruppe Hartmetalle und Cermets wurden in den letzten Jahren dazu verschiedene auf nanoskaligem Wolframcarbid (WC) basierende binderfreie und binderhaltige Hartmetalle entwickelt. Durch die Optimierung von Zusammensetzung und pulvermetallurgischer Fertigung können nun Werkzeuge mit deutlich gesteigerter Härte sowie Bruchzähigkeit hergestellt werden. Die Herstellung beruht auf besonders feinkörnigen WC-Pulvern mit einer mittleren Partikelgröße  $d_{BET}$  von  $\sim 90$  nm. Durch eine angepasste Mischmahlung werden homogene Mischungen hergestellt, welche mittels konventionellem uniaxialen oder kaltisostatischen Pressvorgang zu Werkzeugen oder Werkzeugrohteilen verarbeitet werden können. Die Sinterung erfolgt abhängig von der verwendeten Art und Menge des Binders bei Temperaturen von etwa 1300 °C (nanoskalige Hartmetalle) über 1550 °C (nanoskalige WC-Oxid-Verbundbauteile) bis zu 1900 °C (binderfreie Hartmetalle).

Die binderfreien Hartmetalle weisen aufgrund ihrer sehr geringen Hartstoffkorngröße eine Härte von über 2800 HV10 auf. Sie können aufgrund ihrer Feinheit und der nach einem Polieren vorliegenden sehr geringen Oberflächenrauheit ideal als Pressstempel für Präzisionsglaslinsen eingesetzt werden. Binderfreie Hartmetalle, aber auch Mischkeramiken aus Wolframcarbid und Oxiden wie  $ZrO_2$  oder  $Al_2O_3$  können weiterhin für den Verschleißschutz oder als Dichtringe verwendet werden. Nanoskalige WC-Co-Hartmetalle mit einem Co-Bindergehalt von 6 bis 15 Ma-% besitzen bessere mechanische Eigenschaften als die derzeit verwendeten ultrafeinen Hartmetalle. Wie in Diagramm 1 gezeigt, konnte durch die Verwendung der nanoskaligen Ausgangspulver die Kombination von Härte und Bruchzähigkeit deutlich über die von konventionellen Hartme-

Härte und Bruchzähigkeit der nanoskaligen WC basierten Hartmetalle



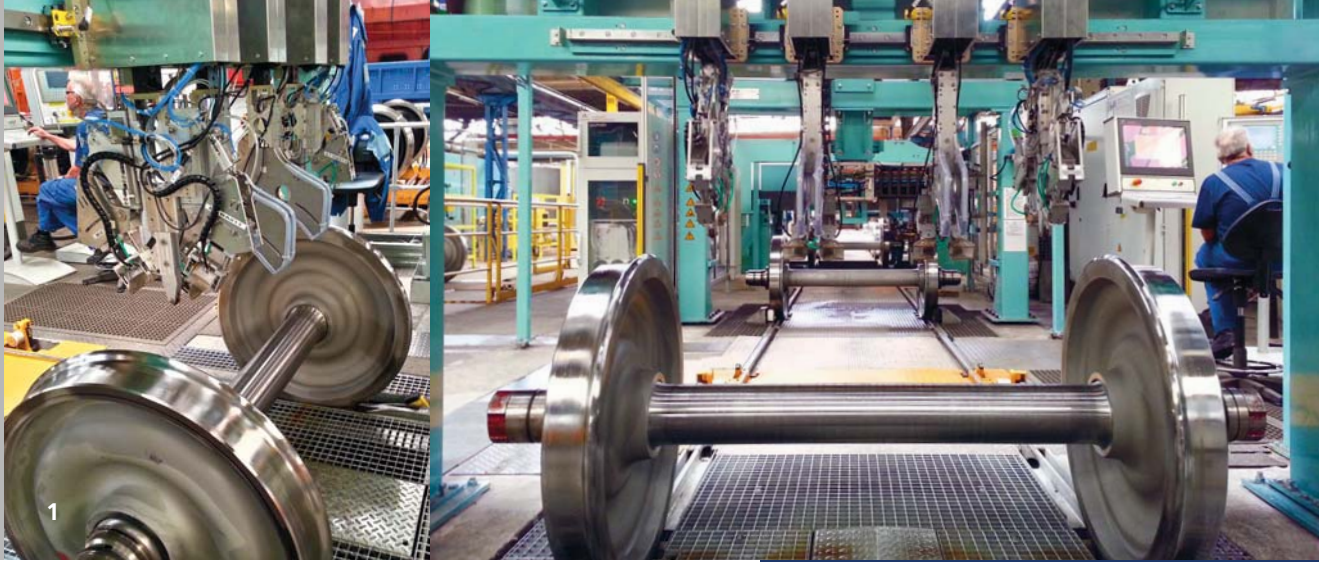
tallen gesteigert werden. Auch die Biegefestigkeit liegt mit über 4500 N/mm<sup>2</sup> deutlich über den bis jetzt eingesetzten Hartmetallen.

Im BMBF-Projekt NanoHM von der Firma Kennametal Widia Essen durchgeführte Zerspaltungstests an Nickelsuperlegierungen zeigten, dass die nanoskaligen Hartmetalle, bei ansonsten gleichen Bedingungen, den bis jetzt eingesetzten Hartmetallen deutlich überlegen sind.

## Leistungs- und Kooperationsangebot

- Optimierung und Herstellung von WC-Keramiken für spezielle Anwendungen und Fertigungsumgebungen
- Legierungsentwicklung binderhaltiger Hartmetalle oder WC-freier Hartmetalle (Cermets)
- Materialcharakterisierung von Hartmetallen und Cermets
- Untersuchung von Ausfallursachen

- 1 Nanoskaliges Hartmetallgefüge, WC-10Co, Sehnenlänge < 100 nm.
- 2 Werkzeuge aus nanoskaligem Hartmetall (geschliffen von Fisch-Tools).



# PHASED-ARRAY-ULTRASCHALLPRÜFSYSTEM FÜR DIE RADSATZVOLLWELLENPRÜFUNG

Dipl.-Ing. (FH) Christian Richter, Dipl.-Ing. Andreas Floet, Henry Scholz

Zur Vermeidung von Unfällen und Zwischenfällen im Bahnbetrieb wird bei der Wartung von Bahnfahrzeugen auch auf Verfahren der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung zurückgegriffen. Durch den Einsatz komplexer Messsysteme können beispielsweise feinste Risse oder Korrosion identifiziert und beurteilt werden.

Bei Wagen im Schienengüterverkehr kommen vorwiegend Radsatzvollwellen zum Einsatz. Diese sind aufgrund ihres Nutzungsprofils (hohe Wechsellasten, Laufleistung, Schienenzustand) für Defekte und Ermüdung anfällig. Die Radsatzvollwellen werden im Rahmen der planmäßigen Instandsetzung ausgebaut und mit Ultraschalltechnik auf mögliche Schäden geprüft. Die Deutsche Bahn nutzte dafür bisher teilautomatisierte Phased-Array-Prüfanlagen der ersten Generation.

Im Rahmen eines Industrieprojekts unter Beteiligung des Fraunhofer IKTS-MD, des Systemintegrators arxes-tolina GmbH und des Mechanikpartners BIP-Industrietechnik GmbH wurden diese Prüfanlagen durch optimierte Anlagen ersetzt.

In den neuen Anlagen werden mehrere Ultraschallgeräte des Typs »PCUS® pro Array« zusammen mit der vollautomatisierten Prüfsoftware »PCUS® pro Lab« eingesetzt. Diese am IKTS-MD entwickelten und bis zur industriellen Serienreife optimierten Ultraschallgeräte zeichnen sich durch eine kompakte Bauform, hohe Kanalanzahl, außergewöhnlich gutes Signal-Rausch-Verhältnis sowie eine überragend hohe Datenübertragungsrate aus. Ihre kompakte Bauform erlaubt eine sehr nahe Montage an den Prüfköpfen. Dadurch werden Störeinflüsse und Signalverzerrungen, die mit langen Signalkabeln einhergehen, minimiert.

Die am Fraunhofer IKTS-MD entwickelte Prüfsoftware wurde im Rahmen eines Projekts des IKTS-MD mit der arxes-tolina GmbH weiterentwickelt und optimiert. Sie ermöglicht eine schnelle und zuverlässige Bewertung der Ultraschallbilder bei

gleichzeitig intuitiver und ergonomischer Bedienung. Dabei ist die Software in der Lage, alle in der Anlage integrierten Ultraschallprüfgeräte parallel anzusteuern und so die vorgegebene Taktzeit durch den gleichzeitigen Einsatz mehrerer Phased-Array-Prüfköpfe zu minimieren.

Innerhalb dieses Industrieprojekts fertigte das IKTS-MD angepasste Phased-Array-Prüfköpfe nach Vorgaben der arxes-tolina GmbH, die lackierte und beschichtete Radsatzvollwellen mit hoher Empfindlichkeit prüfen können. Damit entfällt die bisher notwendige mechanische Vorbehandlung der Wellenoberfläche, z. B. durch Sandstrahlen. Die speziell gekrümmten Prüfköpfe können zudem an allen Wellenbauarten eingesetzt werden.

Die neuen Ultraschallprüfsysteme sind auf höchste Zuverlässigkeit, lange Lebensdauer, geringen Verschleiß und damit auf niedrige Wartungs- und Instandhaltungskosten optimiert.

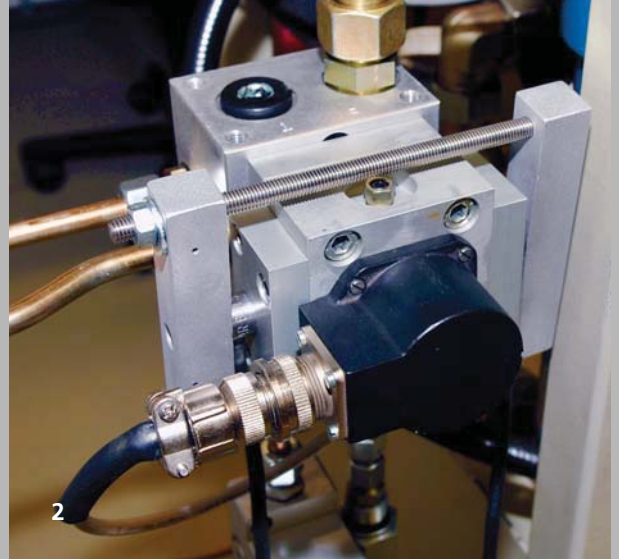
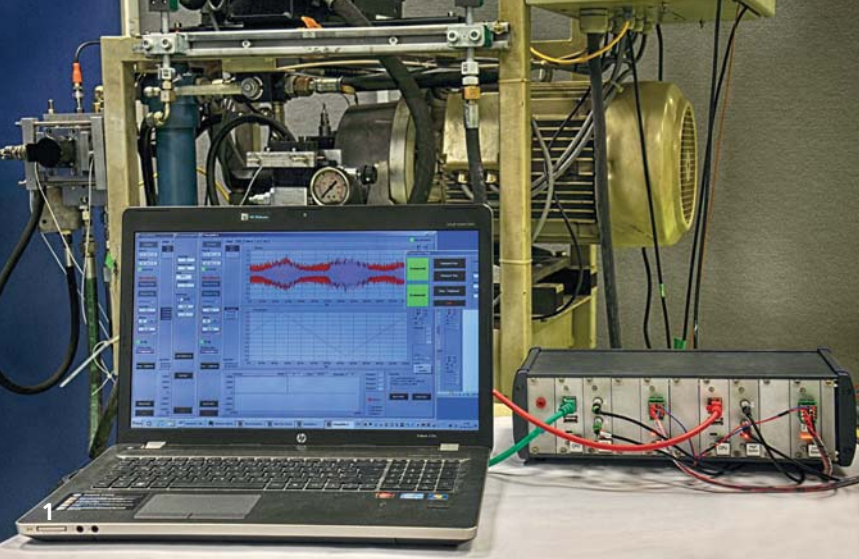
Bereits zwei Anlagen wurden bei der DB Fahrzeuginstandhaltung GmbH errichtet und nach dem Probetrieb vollständig abgenommen. Diese Systeme dienen internationalen Industriepartnern als Referenz. Derzeit laufen Verhandlungen über die Beauftragung weiterer Anlagen.

## Leistungs- und Kooperationsangebot

- Ultraschallsysteme nach Kundenspezifikationen
- Entwicklung und Anpassung von Prüfsoftware
- Entwicklung von Hochleistungsmesselektronik

**1** *Optimierte zerstörungsfreie Prüfung von Radsatzvollwellen für den Schienengüterverkehr.*





MASCHINENBAU UND FAHRZEUGTECHNIK

# PROZESSÜBERWACHUNG VON HYDRAULIK-KOMPONENTEN

Dipl.-Ing. Mareike Stephan, Dipl.-Geophys. Eberhard Schulze

## Aufgabe

Ziel der Entwicklungsarbeit war es, eine effektive Überwachung hydraulischer Prüfstände mit unterschiedlichen Methoden zu ermöglichen.

Bisher müssen Prüfstände regelmäßigen Wartungs-Checks unterzogen werden, auch wenn sich noch kein Fehler in der Anlage abzeichnet. Das hier entwickelte System soll eine kostensparende zustandsabhängige Wartung ermöglichen.

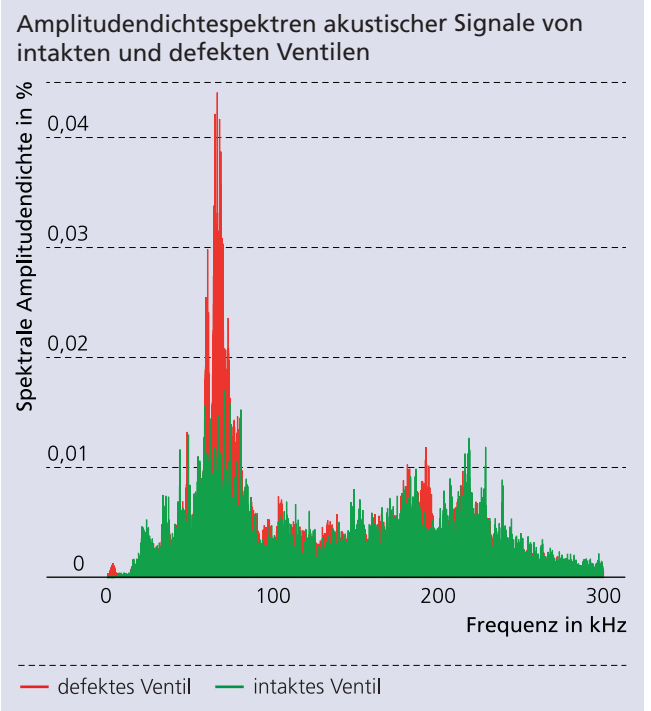
## Verfahren

Im Mittelpunkt der Monitoring-Strategie steht die Überwachung der Ventile, insbesondere der Servoventile, mittels Körperschallsensoren. Durch den Ölstrom werden akustische Körperschallsignale in einem sehr breiten Frequenzspektrum von 10 bis 500 kHz angeregt, die die hydraulischen Prozesse charakterisieren. Änderungen des Zustands durchströmter Komponenten, z. B. durch Verschleiß von Ventilkegeln, führen zu variierenden Signaleigenschaften. Aus den Hüllkurven der Zeitsignale und aus dem Amplitudenspektrum der Signale können Merkmale extrahiert werden, die für die Zustandsüberwachung der Komponenten geeignet sind.

## Hard- und Software

Der Hydraulikmonitor besteht aus digitalen Modulen, die jeweils zwei Kanäle hochfrequenter akustischer Signale mit einer möglichen Abtastrate von bis zu 4 MHz und vier Kanäle niederfrequenter Betriebsgrößen wie Temperatur, Durchfluss, Druck und Ventilsteuerstrom verarbeiten können.

Die Datenerfassung und -übergabe an den PC erfolgt auf Basis eines Mikrokontrollers im Messgerät. Die Messungen können kontinuierlich oder in festgelegten Zeitintervallen ausgeführt werden.



- 1 Monitor für die Überwachung von Hydraulikkomponenten.
- 2 Servoventil mit akustischen Sensoren.





# AUTOMOBILELEKTRONIK – MATERIALIEN UND ZUVERLÄSSIGKEIT

Dr. Martin Gall, Dr. André Clausner, Dipl.-Ing. Christoph Sander, Dr. Matthias Kraatz, Prof. Ehrenfried Zschech

Der Anteil elektronischer Bauelemente in Fahrzeugen nimmt kontinuierlich zu. Das hat mehrere Ursachen: Zum einen wird durch die Anwendung modernster Elektronik die Funktionalität und Bedienbarkeit drastisch gesteigert, zum anderen wird auch die Effizienz signifikant verbessert (Verbrennungskontrolle, Getriebeschaltung, etc.). Hinzu kommt die immer höhere Vernetzung des Automobils. Neben dem wachsenden Angebot im Bereich Infotainment gewinnt das autonome Fahren an Bedeutung. Dies wiederum stellt noch höhere Ansprüche an die Leistungsfähigkeit, Informationsdichte und Übertragungsrate der Mikro- und Nanoelektronik. Bis etwa 2010 wurden nur »ältere« Technologieknoten verwendet, die aufgrund des abgeschlossenen Reifeprozesses höhere und besser verstandene Zuverlässigkeit bieten. Aktuell halten neue Technologien (z. B. 20/22 nm CMOS-Prozesse) Einzug in das Automobil. Um die Betriebssicherheit dieser neuen Technologieknoten zu sichern, kooperieren das Fraunhofer IKTS mit der Volkswagen AG und dem Fraunhofer IIS-EAS auf dem Gebiet der Zuverlässigkeit von mikro- und nanoelektronischen Bauteilen. Die Tabelle zeigt die wichtigsten Unterschiede der Anforderungen in den Bereichen »Consumer electronics« und »Automotive«. Während die meisten Halbleiterhersteller die weniger stringenten Ansprüche im Bereich »Consumer electronics« abdecken, gelten im Automobilbereich höhere Anforderungen. Unterschiede liegen vor allem in der anvisierten Lebensdauer von 15 gegenüber drei Jahren und der Ausfallrate von 0 % (»Zero defects«) gegenüber bis zu 10 %.

Ausgehend von heutiger Standard-Mikroelektronik, die für automobiler Anwendungen qualifiziert ist, werden Eigenschaften, Potenziale und Herausforderungen zukünftiger Mikroelektronik für diesen Anwendungsbereich erarbeitet. Wesentliche Konstruktions- und Prozessbestandteile der Mikroelektronik-Produkte werden hinsichtlich einer Zuverlässigkeitsbewertung evaluiert, u. a. Elektromigration (EM), Stressmigration (SM), Time-Dependent Dielectric Breakdown (TDDB) des BEOL, Temperature Cycling (TC), Gate Oxide Integrity (GOI). Standardmo-

delle für Extrapolationen zu applikationsspezifischen Operationsbedingungen werden einer kritischen Analyse und Validitätsprüfung unterzogen.

Auf Grundlage der am IKTS entwickelten multiskaligen Materialdatenbank, welche die charakteristischen thermomechanischen Eigenschaften der in Halbleiterprozessen verwendeten Werkstoffe beschreibt, werden die zuverlässigkeitslimitierenden Mechanismen ausgearbeitet, die die Lebensdauer eines in der Automobilbranche verwendeten Bauteils bestimmen. Diese Lebensdauer wird als Funktion des automobilen Anwendungsbereichs charakterisiert. Dabei wird der gesamte Aufbauprozess neuer elektronischer Systeme (z. B. einer Electronic Control Unit) berücksichtigt.

## Unterschiedliche Anforderungen an die Mikroelektronik

Eigenschaft	Consumer	Automotive
Temperaturbereich	0 °C bis + 40 °C	- 40 °C bis + 155 °C
Betriebsdauer	1–3 Jahre	10–15 Jahre
Vibration	Vernachlässigbar	0–2000 Hz
Beschleunigung	Vernachlässigbar	500 m/s <sup>2</sup>
ESD-Sicherheit	Bis 3 kV	Bis 15 kV
Tolerierte Feldausfallmenge	< 10 %	Ziel: Null-Fehler
Dokumentation Ausfallverhalten	Nein	Ja
Langfristversorgung	Nein	Bis 30 Jahre

### Wichtige Anwendungsbereiche der Mikro- und Nanoelektronik:

- 1 Consumer electronics  
(Quelle: commons.wikimedia.org).
- 2 Automotive  
(Quelle: Volkswagen AG).