

POSITIONSPAPIER // POSITION PAPER



**„Die ressourceneffiziente Herstellung
keramischer Faserverbundbauteile ist
ein wichtiger Schlüssel zum Erfolg
dieser Werkstoffklasse.“**

//

**„The resource-efficient production of
components of Ceramic Matrix Compo-
sites is an important key to the success
of this class of materials.“**

*Prof. Dr.-Ing. Dietmar Koch
Head of the Board Ceramic Composites
Head of Chair Materials Engineering at the
Institute for Materials Resource Management,
University Augsburg*

Vorwort // Foreword

Der Ceramic Composites wurde 2008 als Vereinigung von Forschungseinrichtungen und Industrie gegründet, ist heute Teil des global agierenden Netzwerks Composites United e. V. und beschäftigt sich mit der Befähigung von Leittechnologien für Energie, Klima und Mobilität mithilfe faserkeramischer Lösungen.

Forschungsvorhaben zu Faserkeramiken werden in Deutschland kontinuierlich gefördert, wenn auch in einem Umfang, der hinter amerikanischen, asiatischen oder auch französischen Forschungsprogrammen weit zurückbleibt. Trotzdem haben die Mitglieder des Ceramic Composites eine, im internationalen Vergleich, führende Forschungsposition erlangt. Nun gilt es, den Wissens- und Technologietransfer zu beschleunigen und die kommerzielle Umsetzung in der Industrie zu stimulieren.

Die Erfahrungen zeigen, dass die Produktumsetzung für Faserkeramiken mit hohen technischen und wirtschaftlichen Risiken behaftet ist. Vor allem KMU sind häufig nicht in der Lage, diese Herausforderungen im Alleingang zu meistern. Im Netzwerk haben sich deshalb die führenden deutschen Unternehmen und Forschungseinrichtungen organisiert, um gemeinsam die Werkstoffklasse der Faserkeramiken voranzubringen und tragfähige Lösungskonzepte für Wirtschaft, Energie, Klima und Mobilität zu etablieren.

//

Ceramic Composites was founded in 2008 as an association of research institutions and industry. Today it is part of the globally active network Composites United e. V. and focused on enabling leading technologies for energy, climate and mobility with the help of Ceramic Matrix Composites (CMC).

Research projects on CMC are continuously funded in Germany, although to an extent that lags far behind American, Asian or even French research programs. Nevertheless, the members of Ceramic Composites have achieved a leading research position compared to other countries. The task now is to accelerate the transfer of knowledge and technology and to stimulate commercial implementation in industry.

Experiences show that product implementation for CMC is associated with high technical and economic risks. SME in particular are often unable to master these challenges on their own. Leading German companies and research institutions have therefore organized themselves in the network to jointly push forward the material class of CMC and establish sustainable solution concepts for the economy, energy, climate and mobility.



Prof. Dr.-Ing. Dietmar Koch

*Vorstandsvorsitzender Ceramic Composites;
Lehrstuhlinhaber Materials Engineering
am Institut für Materials Resource
Management der Universität Augsburg*

*Head of the Board Ceramic Composites;
Head of Chair Materials Engineering at the
Institute for Materials Resource
Management at University Augsburg*

Faserkeramik

Werkstoff mit großem Potenzial

Faserverstärkte Keramiken, sogenannte Ceramic Matrix Composites (CMC¹) oder kurz Faserkeramiken, zeigen im Gegensatz zu spröden monolithischen Keramiken ein quasi-duktiler Materialverhalten. Den bekannten Spruch ‚Scherben bringen Glück‘ können Faserkeramiken nicht erfüllen. Gleichzeitig sind Faserkeramiken leicht und im Vergleich zu anderen faserverstärkten Werkstoffen, wie z. B. CFK (Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff), bis zu 1.400 °C temperaturbeständig und korrosionsstabil. Dies führt zu einer Reihe von Anwendungsvorteilen, z. B. verbessertes Thermochockverhalten, welche Sprunginnovationen auf Gebieten ermöglichen, die bislang Metallen vorbehalten waren. Faserkeramiken sind bereits seit Jahren mit langsam wachsendem Umfang im industriellen Einsatz. Jedoch ist ihr Potenzial, insbesondere für hochwertige Zukunftsinnovationen, bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Dies liegt zum einen am geringen Bekanntheitsgrad dieser neuen Werkstoffklasse, zum anderen an unzureichender Verfügbarkeit der Fasermaterialien einerseits und dem begrenzten Reifegrad der Herstellungstechnologie in Deutschland andererseits.

¹ Faserkeramiken, sog. CMC, bestehen aus Gewebe, Gelege oder Faserbündeln aus keramischen Endlos- oder Kurzfasern, die in eine keramische Matrix eingebettet sind. Hierbei werden verschiedene Fasern (Siliciumcarbid- [SiC], Kohlenstoff- [C] und Aluminiumoxid-basierte Fasern [Ox]) mit unterschiedlichen Matrices (ebenfalls SiC, C und Ox) zur Faserkeramik kombiniert (Faser-/Matrix-Typ: SiC/SiC, C/SiC, C/C-SiC, Ox/Ox, C/C). Durch CMC werden die Nachteile konventioneller technischer Keramik, wie bspw. deren geringe Bruchzähigkeit und hohe Thermochockempfindlichkeit, überwunden.

Vor diesem Hintergrund hat sich das Netzwerk Ceramic Composites des Industrieverbandes Composites United e. V. mit seinen deutschlandweit über 60 institutionellen Mitgliedern führender Unternehmen und Instituten die Aufgabe gestellt, die Entwicklung und Verbreitung der Faserkeramiken zum Nutzen der deutschen Gesellschaft und Wirtschaft zu intensivieren. Hierzu soll das vorliegende Positionspapier beitragen, das für Industrieunternehmen, Forschungseinrichtungen und die staatliche Forschungs- und Wirtschaftsförderung das zukünftige Potenzial dieser Werkstoffklasse und den erforderlichen F&E-Bedarf aufzeigt. Es werden beispielhaft wirksame Innovationsbeiträge für die Herausforderungen unserer Zeit dargestellt und die für eine umfängliche Potenzilausschöpfung erforderlichen Weiterentwicklungen abgeleitet.



Ceramic Matrix Composites

material with high potential

In contrast to brittle monolithic ceramics, fiber-reinforced ceramics, so-called Ceramic Matrix Composites (CMC¹), show quasi-ductile material behavior. CMC cannot fulfill the well-known saying 'Shrads bring luck'. At the same time, Ceramic Matrix Composites are very light and, compared to other fiber-reinforced materials such as CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic), corrosion and temperature resistant up to 1,400 °C. This leads to a number of application advantages, e.g. improved thermal shock behavior, which enable breakthrough innovations in areas that were previously the domain of metals. Ceramic Matrix Composites have already been in industrial use for years with a slowly growing volume.

However, their potential, especially for high-value future innovations, is far from being exhausted. On the one hand this is due to the low level of awareness of this new class of materials, on the other hand to insufficient availability of the fiber materials and the limited maturity of the manufacturing technology in Germany.

In this context, more than 60 institutional members from leading companies and institutes throughout Germany have joined forces in the Ceramic Composites Network of the industry association Composites United e. V. to intensify the development and dissemination of CMC for the benefit of German society and industry. The present position paper is meant to contribute to this objective by highlighting the future potential of this class of materials and the necessary R&D requirements for industrial companies, research institutions and public research. Effective innovation contributions for the challenges of our time are presented in an exemplary way and further developments required to fully exploit the potential are derived.

¹ Ceramic Matrix Composites, so-called CMC, consist of woven fabrics, non-crimp fabrics or rovings of ceramic continuous or ceramic short fibers embedded in a ceramic matrix. Different fibers (silicon carbide [SiC], carbon [C] and alumina-based fibers [Ox]) are combined with different matrices (also SiC, C and Ox) to form Ceramic Matrix Composites (fiber/matrix type: SiC/SiC, C/SiC, C/C-SiC, Ox/Ox, C/C). CMC overcome the disadvantages of conventional technical ceramics, such as their low fracture toughness and high thermal shock sensitivity.

Herausforderungen begegnen //

Facing challenges

Dass die globalen Herausforderungen große Anstrengungen auch auf nationaler Ebene erfordern, ist an den Programmen der deutschen Regierung deutlich zu erkennen. Die Erfordernisse des Klimawandels, des Wachstums der Weltbevölkerung und der zunehmenden Ressourcenverknappung münden in langfristige deutsche Entwicklungsstrategien, wie Energie- und Verkehrswende, Green Deal und Wasserstoffwirtschaft. Neben einer nachhaltigen Gestaltung der ökologischen und ökonomischen Zukunft, muss aber auch die hohe Wirtschaftskraft des Standorts gesichert werden, nicht zuletzt durch eigene disruptive Sprunginnovationen. Hierfür sind auch, mitunter zwingend, neue werkstoffliche Ansätze und Lösungen erforderlich, wie sie durch den Einsatz von Faserkeramiken umgesetzt werden können.

Die Dekarbonisierung der Energiewirtschaft und Mobilität ist für unsere Zukunftsentwicklung von herausragender Bedeutung. Ein hohes Potenzial wird insbesondere regenerativ-nachhaltig erzeugtem Wasserstoff und seinen Derivaten als Energieträger auf dem Weg zur emissionsfreien Mobilität sowie Strom- und Prozesswärmeerzeugung nachgesagt. Hierfür sind in vielen Teilprozessen thermische Umsetzungsprozesse, z. B. Syngas-Synthese, erforderlich, deren Wirkungsgrade mit zunehmender Prozesstemperatur markant steigen. Hier steuern Faserkeramiken aufgrund ihrer hohen Temperaturbeständigkeit und ihrer hohen Stabilität gegenüber aggressiven Medien neue und bessere Schlüsselkomponenten bei.

The fact that global challenges also require major efforts at the national level can be clearly seen in the German Federal Government's programs. The necessities arising from the climate change, the growth of the world's population and the increasing shortage of resources are leading to long-term development strategies in Germany, such as the energy transition and mobility transformation, the Green Deal and the hydrogen economy. Alongside a sustainable shaping of the ecological and economic future, the high economic strength of the German market must also be secured, not least through its own disruptive leap innovations. This also requires, in some cases inevitably, new material approaches and solutions, such as those that can be implemented through the application of Ceramic Matrix Composites.

The decarbonization of the energy and mobility sectors is of crucial importance for our future development. In particular, regeneratively and sustainably produced hydrogen and its derivatives are said to have great potential as energy carriers on the way to a zero emission mobility as well as for the generation of electricity and process heat. For this purpose, many subprocesses require thermal conversion processes, e.g. syngas synthesis, whose efficiencies increase significantly with increasing process temperature. At this point, CMC contribute new and improved key components due to their high temperature resistance and their high stability against aggressive media.

„Faserkeramiken haben das Potenzial, Hochtemperaturprozesse in der Energieerzeugung der Zukunft effizienter und somit wirtschaftlich attraktiv zu machen.“

//

„CMC have the potential to make high-temperature processes in the power generation of the future more efficient and therefore economically attractive.“

Dr. Hagen Klemm, Head of Department, Fraunhofer IKTs and Working Group Leader in Ceramic Composites



Hybride Bremsscheibe aus Faserkeramik und Metall für die Anwendung in der Elektromobilität und im Schienenverkehr //

Hybrid brake disc made of CMC and metal for application in BEV and rail transport

© University of Bayreuth – CME

Herausforderungen begegnen

Auch bei der Verkehrswende leistet die Werkstoffklasse der Faserkeramiken wirksame Beiträge. Für Triebwerke in modernen Flugzeugen, wie auch für leistungsstarke Antriebe im Last- und Schiffsverkehr stellen Faserkeramikbauteile die Rolle eines Wertschöpfungsmultiplikators dar, da diese in der Regel leistungsbestimmend für das größere Gesamtsystem sind.

Darüber hinaus bieten Faserkeramiken eine hohe und synergistische Querschnittswirkung im Gesamtbereich der Produktionstechnik, der chemischen Verfahrenstechnik, der thermo-basierten Grundstoffindustrie wie auch im Maschinen- und Anlagenbau. An vielfältigen Stellen der Prozess- und Fertigungslandschaften können Faserkeramiken helfen, Effizienz zu steigern, Ressourcen zu sparen, Emissionen zu senken und Life-Cycle-Zyklen zu verlängern. Davon abgeleitet können neue Produktionsverfahren und Produkte, auch

unter der konsequenten Nutzung der Chancen der Digitalisierung, den Produktionsstandort Deutschland stärken, weiter ausbauen und neue Wettbewerbsfähigkeiten erringen. Dies gilt für die Faserkeramik an sich, wie auch für die damit innovierten Prozesse und Produkte.

Wettbewerber wie China, Japan, Frankreich oder USA fördern aufgrund des enormen Potenzials von Faserkeramiken die Entwicklungen dieser Werkstoffklasse deutlich. Trotz dessen hat sich Deutschland auf dem Gebiet der Faserkeramik eine weltweit führende Forschungsposition erarbeitet. Nun gilt es, diese Führungsrolle auch in eine führende Marktposition zu übertragen. Der Ceramic Composites mit seinem deutschlandweiten Mitgliedernetzwerk will dazu beitragen und sieht seine Aufgabe im industriellen als auch politisch-gesellschaftlichen Umfeld.

Facing challenges

The material class of Ceramic Matrix Composites creates also effective contributions in the transformation of mobility. For engines in modern aircrafts, as well as for high-performance powertrains in heavy duty vehicles and ships, Ceramic Matrix Composites components constitute a multiplier for the added value chain, as they usually determine the performance of the larger overall system.

In addition, CMC offer a high and synergistic cross-sectional effect in the entire field of production technology, chemical process engineering, the thermo-based primary industry as well as in mechanical and plant engineering. At various points in the process and manufacturing environments, Ceramic Matrix Composites can help to increase efficiency, save resources, reduce emissions and extend life cycles. Derived new production processes and products, also by consequently using the opportunities of digitalization, can strengthen and

further expand the production location Germany and gain a new level of competitiveness. This applies to CMC per se, as well as to the corresponding innovative processes and products.

Competing Countries, such as China, Japan, France or the USA, are clearly promoting the development of this class of materials due to the enormous potential of Ceramic Matrix Composites. Despite this, Germany has achieved a leading research position worldwide in the field of Ceramic Matrix Composites. Now the task is to turn this leading role into a leading market position. The Ceramic Composites network with its German-wide alliance of members wants to contribute to this and sees its task in the industrial as well as the political-social environment.

Gewickelte Bauteile aus CMC // Wound components made of CMC

© Schunk Kohlenstofftechnik



Lösungen erschließen

Die Bereitstellung von höchstleistungsfähigen Schlüsselkomponenten zählt zu den Stärken der Faserkeramik. Diese können das Leistungs- und Umweltprofil gesamter technischer Systeme und Verfahren maßgeblich bestimmen und auch die finale Wertschöpfung markant steigern.

Was CFK für Flugzeugstrukturen bedeutet, ist Faserkeramik für **Fluggasturbinen**: Ob Flammhalter, Flammrohre, Brennkammerauskleidung oder Leit- und Laufschaufeln im Heißgasbereich, CMC-Bauteile reduzieren das Gewicht, erlauben höhere Gastemperaturen und sparen Kühlleistung – in Summe bedeutet das weniger Treibstoffbedarf und eine entsprechende Reduzierung der CO₂-Emissionen. Damit gelingt es, für einen umweltschonenden Flugverkehr (Flightpath 2050) die Klimaschutzpolitischen Ziele der Bundesregierung mit einer Reduktion von 40 % CO₂-Äquivalent bis zum Jahre 2030 zu erreichen.

Im konkreten Fall führt die Verwendung von SiC/SiC-CMC zu einer Steigerung der Verbrennungstemperatur von Fluggasturbinen auf ca. 1.300 °C. Damit und durch die gleichzeitige Reduktion des Bauteilgewichts (- 40 %) wird der Wirkungsgrad um ca. 5 % erhöht. Dies führt z. B. für die Flotte einer großen Fluggesellschaft zur Verringerung des CO₂-Ausstoßes um mehrere Megatonnen pro Jahr. General Electric in den USA hat die CMC-Technologie für Fluggasturbinen bereits im Markt positioniert und bereitet sich auf eine Großserienfertigung vor. Europa und vor allem Deutschland hinken hier zum Teil deutlich hinterher.

Will man dieses strategische Gebiet nicht der ausländischen Konkurrenz, und zukünftig auch China überlassen, müssen Schritte über den gegenwärtigen Rahmen hinaus von Industrie und Politik unternommen werden.

Von Entwicklungen für Flugantriebe würde auch die Technologie **stationärer Gasturbinen** in allen Leistungsstufen profitieren. Mit der zunehmenden Verbreitung der Nutzung von Wasserstoff wird auch wasserstoffhaltiges Brenngas für stationäre Gasturbinen unvermeidlich. Auch wenn Gasturbinen gegenwärtig als Brückentechnologie betrachtet werden, werden sie im Zuge der Sektorenkopplung und Nutzung regenerativer Gase auch in Zukunft zum Ausgleich der Fluktuationen regenerativer Energiequellen und für die Bereitstellung großer lokaler Leistungsvolumina nötig sein. Zukünftige Gasturbinen erfordern vor allem eine hohe Einsatzsatzflexibilität für schnellen Hochlauf in wenigen Minuten, für hohe Betriebszyklen im Stundenwechsel sowie unterschiedliche Brennstoffgemische mit Wasserstoff. Faserkeramiken mit ihrer geringen Masse, ihrer hohen thermischen Wechseltemperaturfestigkeit und chemischen Hochtemperaturstabilität sind hier ein prädestinierter Werkstoff für die Schlüsselkomponenten im Heißgasbereich.

„Der Ceramic Composites verleiht vor allem den KMU eine wichtige Stimme.“

Philipp Goetz
CEO CV-Technology GmbH
Vorstand Ceramic Composites

Access to solutions

The allocation of high-performance key components is one of the strengths of Ceramic Matrix Composites. They can significantly determine the performance and environmental profile of entire technical systems and processes as well as significantly increase the final added value.

What CFRP means for aircraft structures, CMC means for **aero-gas turbines**: Whether liners, shrouds, blades or nozzles, CMC components reduce weight, allow higher gas temperatures and save cooling power - all in all, this means lower fuel consumption and a corresponding reduction in CO₂ emissions. Thereby, it will be possible to achieve the climate protection policy goals of the German government for an environmentally friendly air traffic (Flightpath 2050) with a reduction of 40 % CO₂-equivalent by the year 2030.

In this specific case, the use of SiC/SiC-CMC leads to an increase in the combustion temperature of aero-gas turbines to approx. 1,300 °C. As a result, and due to the simultaneous reduction in component weight (- 40 %), efficiency is improved by approx. 5 %. As an example, this leads to a reduction in CO₂ emissions of several megatons per year for the fleet of a major airline. United States-based General Electric has already positioned CMC-technology for aircraft gas turbines on the market and is preparing for large-scale production. Europe, and Germany in particular, are lagging far behind in this respect.

If this strategic area is not to be left to foreign competitors, and in the future also to China, actions beyond the current framework must be implemented by industry and politics.

Technology for **stationary gas turbines** at all power levels would also benefit from developments for aero engines. As the use of hydrogen becomes more widespread, hydrogen-containing fuel gas for stationary gas turbines will also become inevitable. Even though gas turbines are currently seen as a bridging technology, they will continue to be needed in the future to balance the fluctuations of renewable energy sources and to provide large local power volumes in the course of sector coupling and the use of renewable gases. Future gas turbines will require, above all, a high degree of operational flexibility for rapid start-up in just a few minutes, for high operating cycles in hourly changes, and for different fuel mixtures with hydrogen. Fiber ceramics with their low mass, high thermal shock resistance and chemical high-temperature stability are a predestined material for key components in the hot gas sector.

„Through the Ceramic Composites, especially the SME are given an important vote.“

Philipp Goetz
CEO CV-Technology GmbH
Board of Ceramic Composites

Lösungen erschließen

Wasserstoff wird in der Zukunft ein unverzichtbarer Energieträger sein. Neben der **Wasserstoffherzeugung** durch Elektrolyse mittels regenerativer Elektrizität (grüner Wasserstoff) wird auch durch die Sektorenkopplung die Wasserstoffgewinnung aus Biogas und befristet auch aus fossilen Energieträgern (grauer Wasserstoff) durch Reformierung von Bedeutung sein, einerseits zur direkten Wasserstoffgewinnung und andererseits für die Herstellung von Derivaten (Power-to-Gas), wie z. B. Synthesegas, u. a. auch als Rohstoff für die chemische Industrie. Insbesondere bei der Trockenreformierung kann die Prozesseffizienz durch höhere Prozesstemperaturen von über 1.000 °C erheblich, bis auf 70 %, gesteigert werden. Dafür sind allerdings metallische Reaktorröhren nicht mehr geeignet – hier werden Faserkeramiken zum Gewinner. Sie erlauben die hohen Reformierungstemperaturen und einen nachhaltigen sicheren Anlagenbetrieb. Somit würde die Hochtemperatur-Trockenreformierung zu einem leistungsstarken Bestandteil der Wasserstoffwirtschaft für alle Arten der Umsetzung von Wasserstoff werden, wie bei z. B. Power-to-Chemicals, Power-to-Fuel einschließlich Rückverstromung in Gaskraftwerken oder Brennstoffzellen. Auch im Bereich der sogenannten **„New Mobility“** können CMC Lösungen für Höchstgeschwindigkeits-Flugzeuge und urbanen Luftverkehr bieten, wie z. B. einschlagsichere Außenhaut oder Schutzhauben für Infrarotsensoren bzw. -kameras.

Die zukünftigen Mobilitätskonzepte des Personenverkehrs setzen ausschließlich auf Elektroantriebe mittels Batterie oder Brennstoffzelle.

Im straßengebundenen Schwerlastverkehr und in der Schifffahrt haben Verbrennungsmotoren mittelfristig noch nicht ausgedient. Hier können moderne **Gas- und Wasserstoffmotoren** eine Lösung auf dem Weg zu ‚grünen‘ Antrieben bieten. So entwickelt die Firma Deutz leistungsstarke Wasserstoffmotoren für den stationären Betrieb. Da insbesondere die direkte Verbrennung von Wasserstoff konventionelle Motorendesigns durch Wasserstoffversprödung und Schmiermittelzerstörung stark schädigt, wären Faserkeramiken eine wegbereitende Zukunftslösung. Sie bieten neben der thermischen und mechanischen Schadenstoleranz die Möglichkeit der Funktionalisierung von Oberflächen, indem diese reibungsarm und selbstschmierend sein können.



Hydrogen will be an indispensable energy carrier in the future. In addition to **hydrogen production** by electrolysis using regenerative electricity (green hydrogen), hydrogen production from biogas and, for a limited time, also from fossil energy carriers by reforming (gray hydrogen) will also be important due to sector coupling. On the one hand, it will be used for direct hydrogen production and, on the other hand, for the production of derivatives (power-to-gas), such as synthesis gas, amongst others as a raw material for the chemical industry. Particularly in the case of dry reforming, process efficiency can be increased considerably, to as much as 70 %, by higher process temperatures of above 1,000 °C.

Access to solutions

However, metallic reactor tubes are no longer suitable for this purpose – this is where CMC turn out to be the winner. They allow the high reforming temperatures and sustainable safe plant operation. Thus, high-temperature dry reforming would become a powerful component of the hydrogen economy for all types of hydrogen conversion, such as power-to-chemicals, power-to-fuel including re-powering in gas-fired power plants or fuel cells.

Likewise, in the area of so-called **„new mobility“**, CMC can provide solutions for high-speed aircrafts and urban air transport, such as impact-resistant outer skin or protective covers for infrared sensors or cameras.

Future mobility concepts for passenger transport will rely exclusively on electric drives using batteries or fuel cells. In road-based heavy-duty transport and shipping, internal combustion engines are not yet obsolete in the medium term. Here, modern **gas and hydrogen engines** can offer a solution on the path to ‚green‘ drives. The Deutz company, for example, is developing high-performance hydrogen engines for stationary operation. Since the direct combustion of hydrogen in particular severely damages conventionally designed engines through hydrogen embrittlement and lubricant destruction, Ceramic Matrix Composites would be a groundbreaking solution for the future. In addition to thermal and mechanical damage tolerance, they provide the possibility of low friction and self-lubricating properties achieved through surface functionalization.



„CMC sind der Leichtbauwerkstoff, der in der gesamten Industrie am wenigsten bekannt ist, dabei aber die höchsten Potenziale für Effizienzsteigerungen für industrielle Hochtemperaturanwendungen bietet.“



„CMC are the least known lightweight material in the industry but offer the highest potential for efficiency gains for high-temperature industrial applications.“

*Ralph Hufschmied, Managing Direction,
Hufschmied Zerspanungssysteme GmbH,
Board of Ceramic Composites*

Lösungen erschließen

Im gesamten Bereich der **Produktionstechnik**, von der **chemischen Industrie bis zum Maschinen- und Anlagenbau** können Faserkeramiken wertvolle Befähiger sein, um die Energieeffizienz zu verbessern, Primärenergie einzusparen, Emissionen zu reduzieren, Prozesssicherheit zu steigern und Anlagenverfügbarkeit und -lebensdauer zu verlängern. So sind beispielsweise für die Thermo- prozesstechnik

- » Chargiergestelle,
- » CMC-armierte Rohrleitungen,
- » Rinnen und Behälter für Metallguss,
- » Wärmeisolationsschürzen in der Stahlerzeugung,
- » keramische Walzwerkzeuge,
- » Formen für die Glasherstellung oder
- » Brennerdüsen im Ofenbau

nur einige bestehende und zukünftige Beispiele aus einer Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten. Völlig neu wären z. B. Bearbeitungswerkzeuge aus Faserkeramik. Werkzeughersteller verspüren zunehmend die Folgen der Rohstoffverknappung bei dem Sondermetall Co für WC-Co-Schneidplatten. Hier könnte eine werkstofflich speziell ausgerichtete Faserkeramik eine Werkstoffrevolution auslösen.

„Oxidische Faserkeramiken tragen zur Ressourceneffizienz in der Wärmebehandlung bei – sie reduzieren Energiebedarf und Materialausschuss signifikant.“

Dr. Mathias Kunz,
Geschäftsführer WPX Faserkeramik GmbH



© WPX Faserkeramik GmbH

Chargiergestell aus CMC für die Wärmebehandlung von Stahl //
Charging frame made of CMC for heat treatment of steel

Access to solutions

In the entire field of **production technology**, from the **chemical industry to mechanical and plant engineering**, Ceramic Matrix Composites can be valuable enablers for improving energy efficiency, saving primary energy, reducing emissions, increasing process reliability and extending plant availability and service life. Thus, for example, for the thermo-processing technology

- » Charging racks,
- » CMC-reinforced pipes,
- » troughs and vessels for metal casting,
- » thermal isolation aprons in steel production,
- » ceramic rolling dies,
- » molds for glass production or
- » burner nozzles in furnace construction

are just a few of existing and future examples from a wide range of possible applications. A completely new development would be, for example, machining tools made of CMC. Tool manufacturers are increasingly feeling the consequences of raw material shortages concerning the special metal Co for WC-Co cutting inserts. Here, a specially designed Ceramic Matrix Composites material could trigger a material revolution.

„Oxide fiber ceramics contribute to resource efficiency in heat treatment – they significantly reduce energy requirements and material scrap.“

Dr. Mathias Kunz,
CEO WPX Faserkeramik GmbH

Lösungen erschließen

Im Bereich der **Raumfahrt**, wo Deutschland zu den weltweiten Technologietreibern zu zählen ist, sind CMC für z. B. Hitzeschutzsysteme und für bewegliche Steuerklappen Stand der Technik. **Micro-Launcher, Mini-Raketen und Drohnen** sind Anwendungen, die aktuell ein rapides Wachstum aufweisen und für viele Startups und etablierte Firmen neue Produktmöglichkeiten offenbaren. CMC bieten hier mit Blick auf thermischen und mechanischen Schutz, Wiederverwendbarkeit oder spektrale Transmissions- und Reflektionseigenschaften bislang noch nicht praktizierte Lösungen an. Insbesondere der Aspekt der Wiederverwendbarkeit wird hierbei von besonderer Bedeutung sein.

Ähnliches gilt auch für Containments aus CMC. Für **Elektronikgehäuse, Batterie- und Akku-Gehäuse oder Brennstoffzellen-Einhausungen** sorgen CMC durch deren Nichtbrennbarkeit bei gleichzeitiger Isolierung für mehr Sicherheit, u. a. auch im kritischen Umfeld der Flugzeugtechnik. Grundsätzlich sind Container aus CMC auch für die sichere und langfristige Lagerung von umweltschädlichen Abfällen geeignet. Dies bietet auch für die **Langzeitlagerung von Atommüll** neue Konzepte, die die hohe chemische Stabilität von Faserkeramiken nutzen. Undichtigkeiten durch Korrosion (auch in den geplanten Lagerstätten) und Kontamination der Umgebung oder des Grundwassers wären vollständig auszuschließen – allerdings steht eine Realerprobung von CMC-Lagerbehältern noch aus.

Die Leichtbau-Eigenschaften von CMC finden seit Jahren in Bremssystemen Anwendung. **CMC-**

Bremsen sind korrosionsfest, wartungsarm und hoch effektiv. Zukünftige CMC- oder CMC-Hybrid-Bremsscheiben sparen in Elektro- und Schienenfahrzeugen Gewicht und verbessern die Notbrems-eigenschaften. Wie neuere Studien zeigen, wird auch die Feinstaubzeugung durch CMC-Bremsen deutlich reduziert, da zum einen keine Korrosionsprodukte freigesetzt werden und andererseits der ‚Volumenabrieb‘ geringer als bei metallischen Produkten ausfällt.



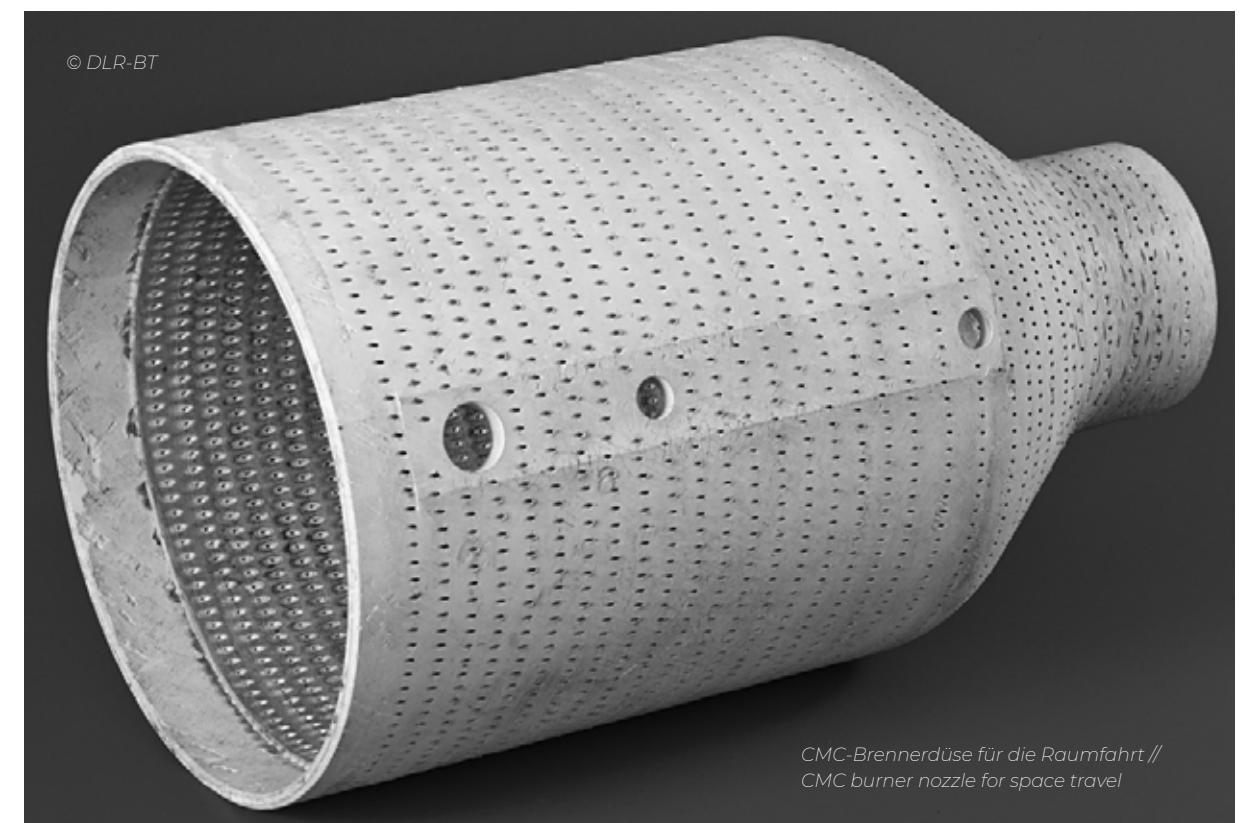
In the **aerospace sector**, where Germany is one of the world's technological drivers, CMC are state of the art, e.g. for heat protection systems and for movable control flaps. **Micro-launchers, mini rockets and drones** are applications that are currently showing rapid market growth and open up new product opportunities for many startups and established companies. CMC offer solutions that have not yet been implemented in terms of thermal and mechanical protection, re-usability or spectral transmission and reflection properties. Particularly the aspect of reusability will be of special importance here.

The same applies to containments made of CMC. For **electronic housings, battery and accumulator housings or fuel cell confinements**, their non-flammability combined with electrical insulation properties can provide greater safety, for example in the critical sector of aircraft technology.

Access to solutions

In principle, containers made of CMC are also suitable for the safe and long-term storage of environmentally critical waste. This offers new concepts for the **long-term storage of nuclear waste**, which make use of the high chemical stability of Ceramic Matrix Composites. Leakage due to corrosion (also in the planned storage sites) and contamination of the environment or groundwater would be completely ruled out - however, CMC storage containers have not been tested under real-life conditions yet.

For years, the lightweight properties of CMC have been used in braking systems. CMC brakes are corrosion resistant, require little maintenance and are highly effective. Future CMC (or CMC-hybrid) brake discs will save weight and improve emergency braking characteristics in electric and rail vehicles. As recent studies have shown, **CMC brakes** also significantly reduce the generation of particulate matter, since on the one hand no corrosion products are released and on the other hand the abrasion by volume is lower than with metallic products.



Gemeinsam handeln // Joint action

Faserkeramiken sind **Hochleistungswerkstoffe mit strategischer Bedeutung** für einen großen Teil der beschriebenen Applikationspotenziale. Eine Energiewende ohne Hochtemperaturleichtbau mit Faserkeramik wird nur zum Teil gelingen. Für eine Vielzahl der erzeugenden Industrien bieten Synergieeffekte einen zusätzlichen wirtschaftlich wirksamen Effekt. Aber bis dahin bleibt noch viel zu tun. Eine Reihe von Herausforderungen sind noch ungelöst, von grundlegenden Fragestellungen des Materialverhaltens bis zu logistischen Themen der Faserbereitstellung.

Gegenwärtig ist die **Verfügbarkeit großer Mengen von keramischen Endlosfasern** nicht gegeben. Die Serienfertigung unterschiedlicher hochwertiger Keramikfasern innerhalb Deutschlands startet gerade erst. Somit besteht nach wie vor eine substantielle Abhängigkeit von Herstellern in USA und Japan, die teilweise bereits durch Exklusiv-Verträge mit außer-europäischen Anwendern gebunden sind. Zwar sind in Deutschland inzwischen einige Faserpilot-, und seit kurzen auch Serienanlagen in Betrieb, in denen Prototypfasern mit sehr hoher Qualität erzeugt werden. Eine industrielle Serienfertigung für die Breite der Keramikfasern steht jedoch noch aus. Dies ist vorwiegend dem hohen unternehmerischen Risiko geschuldet und könnte z. B. durch Anschubfinanzierungen erleichtert werden.

Ceramic Matrix Composites are **high-performance materials with strategic importance** for a large part of the application potential described. An energy transition without high-temperature lightweight design with CMC will only be partially successful. For a large number of the producing industries, synergistic effects offer an additional economic effect. However, there is still a lot to be done until then. A number of challenges remain unsolved, from fundamental questions of material behavior to logistical issues of fiber supply.

Currently, the **availability of large quantities of ceramic continuous fibers** is not given. Series production of different high-quality ceramic fibers within Germany is just starting. Consequently, there is a substantial dependence on manufacturers in the USA and Japan, some of which are already bound by exclusive contracts with non-European users. In the meantime, several fiber pilot plants, and recently also series production plants, are in operation in Germany, in which prototype fibers of very high quality are produced. However, industrial series production for the wide range of CMC is still pending. This is mainly due to the high entrepreneurial risk and could be facilitated, for example, by financing.

„Der Ceramic Composites ist für uns eine wichtige Plattform für die Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und Hochschule.“

//

„For us, Ceramic Composites is an important platform for cooperation between companies and universities.“

Prof. Dr.-Ing. Ralf Goller, Professor at Mechanical and Process Engineering, University of Applied Science Augsburg and Working Group Leader in Ceramic Composites

Gemeinsam handeln

Insgesamt blockieren die hohen **Kosten der CMC-Produkte** einen breiteren Einsatz dieser Werkstoffe vor allem für ‚kostensensitive‘ Anwendungen. Dies ist nicht allein auf die hohen Einkaufspreise der Fasern zurückzuführen, sondern auch auf die gesamte Bauteilherstellung einschließlich Produktionsausbeute. Die Produktion von CMC ist teilweise noch nicht auf große Masseströme ausgelegt. **Automatisierung** und innovative Prozesstechniken können hier für wichtige Fortschritte sorgen. Die Bildung einer deutschen Supply-Chain, um gleichbleibende Qualität bei moderaten Kosten zu ermöglichen, stellt in diesem Bereich einen wesentlichen Kern der Herausforderungen dar, der das unternehmerische Risiko eines Produktpioniers signifikant senken könnte.

Digital gesteuerte Prozesse, Vernetzung von Prozessen hin zu **digital gesteuerten Prozessketten** oder gar unternehmensübergreifende Verzahnungen sind im Wertschöpfungsnetz von CMC noch nicht ausgebaut. Gerade den beteiligten KMU fehlen hier die Kapazitäten, den internationalen Wettbewerb dauerhaft für sich allein entscheiden zu können. Für das werkstoffangepasste und **digital gestützte Bauteil-Design und Engineering** fehlen durchgängige Werkstoffdaten, Kenntnisse über Lebensdauer- und Versagensverhalten, Fertigungstechnik und Konstruktionsmethoden. Die einfache Übertragung von Vorgehensweisen und Erkenntnissen aus anderen Werkstoffklassen ist weitgehend nicht möglich. Für die Erschließung neuer Anwendungen würde die gezielte Entwicklung und Herstellung von Demonstratoren bis zu Prototypen helfen, Felderfahrungen zu gewinnen,

die Leistungsfähigkeit aufzuzeigen und somit den Bekanntheitsgrad zu steigern.

Dies muss ergänzt werden durch Recyclingkonzepte einschließlich Reparatur und Wiederaufbereitung hochwertiger CMC-Komponenten, welche die zu fordernde **Nachhaltigkeit** (Ökobilanz und Kreislaufwirtschaftsfähigkeit) darlegen. Da CMC eine junge Materialklasse darstellen, die in materialwissenschaftlichen Studiengängen gelehrt wird, muss Nachwuchswissenschaftler*innen, Ingenieur*innen und Techniker*innen eine adäquate **Ausbildung** verfügbar gemacht werden, die sie mit CMC vertraut macht, ihnen die werkstoffspezifischen Besonderheiten vermittelt und die Überzeugung, CMC einzusetzen. Zusätzlich muss dafür gesorgt werden, dass die Verzahnung von Wissenschaft und Wirtschaft weiter voranschreitet, um den **Technologie- und Wissenstransfer** in die Unternehmen so intensivieren und die Skepsis gegenüber dieser hoch leistungsfähigen Werkstoffklasse zu überwinden.

Forschungsvorhaben zu Faserkeramiken wurden und werden in Deutschland und der EU kontinuierlich gefördert, wenn auch in einem Umfang, der hinter amerikanischen oder asiatischen Forschungsprogrammen weit zurückbleibt. Trotzdem hat Deutschland eine im internationalen Vergleich führende Forschungsposition erlangt. Nun gilt es, den Wissens- und Technologietransfer in die Industrie zu beschleunigen, die Anwendungsbereitschaft in der Industrie und die kommerzielle Umsetzung zu stimulieren.

Joint action

Overall, the high **cost of CMC** products is blocking wider use of these materials, especially for ‚cost-sensitive‘ applications. This is not only due to the high purchase prices of the fibers, but also to the entire component manufacturing including production yield. The production of CMC is partly not designed for large volume flows. **Automation** and innovative process technologies can provide important progress here. The formation of a German supply chain to enable consistent quality at moderate costs represents a key challenge in this area, which could significantly reduce the entrepreneurial risk of a product pioneer.

Digitally controlled processes, networking of processes to **digitally controlled process chains** or even cross-company interlocking are not yet developed in the CMC value network. The participating SME in particular lack the capacities to permanently win the international competition on their own. For material-adapted and **digitally supported component design and engineering**, there is a lack of consistent material data, knowledge of service life and failure behavior, joining technology and design methods. The simple transfer of procedures and knowledge from other material classes is largely not possible. For the development of new applications, the targeted development and manufacture of demonstrators up to prototypes would help to gain field experience, demonstrate performance and thus increase recognition.

This must be complemented by recycling concepts including repair and re-use of high-quality CMC components, which demonstrate the required level of **sustainability** (LCA and capability for circular economy). Since CMC are a young class of materials taught in materials science courses, adequate **training** must be made available to young scientists, engineers and technicians to familiarize them with CMC, to teach them the material-specific characteristics and to convince them to apply CMC. In addition, it must be ensured that the interlinking of science and industry continues to progress in order to intensify the **transfer of technology and knowledge** to companies and to overcome skepticism about this high-performance class of materials.

Research projects concerning Ceramic Matrix Composites are and have been continuously funded in Germany and the EU, although to an extent that remains far behind American or Asian research programs. Nevertheless, compared internationally, Germany has achieved a leading research position. The task now is to accelerate the transfer of knowledge and technology to industry and to stimulate industrial application readiness and commercial implementation.

Gemeinsam handeln

Die bisherigen Erfahrungen aus dem Netzwerk des Ceramic Composites zeigen, dass die Produktumsetzung für CMC mit hohen technischen, aber auch wirtschaftlichen Risiken behaftet ist. Einzelunternehmen, vor allem KMU, sind nicht in der Lage, die oben genannten Herausforderungen im Alleingang zu meistern. Im Verbund des Ceramic Composites haben sich deshalb die führenden Unternehmen und Forschungseinrichtungen organisiert, um den gemeinsamen Interessen an der industriellen Anwendung von Faserkeramiken Gehör zu verschaffen und gemeinsam zu handeln.

Aus den Erfahrungen und Einschätzungen des Mitgliederkreises des Ceramic Composites könnten folgende Aktivitäten zu einer Intensivierung der Nutzung der Potenziale von Faserkeramikwerkstoffen führen:

- » Schaffung der Möglichkeit von Anschubfinanzierungen für die Kommerzialisierung des im deutschen Forschungsbereich vorhandenen und international anerkannten Know-how zur Herstellung von Keramikfasern. Dies könnte durch ein größeres Industriekonsortium erfolgen, das durch die deutsche **Wirtschaftsförderung** erleichternde Rahmenbedingungen erhält.
- » Verstärkte **Forschungsförderung** mit den Schwerpunkten Produktionstechnik, Design und Engineering, Effizienz und Nachhaltigkeit mit der Vorgabe, dass große Verbundvorhaben angestrebt werden, in denen sich mehrere CMC-

Hersteller und Anwender koalieren mit dem Ziel, gemeinsam Wissen zu generieren und zu teilen.

- » Die Einrichtung eines **nationalen Demonstrationszentrums** für Faserkeramikanwendungen, in dem Bauteile hergestellt und unter Realbedingungen erprobt werden. Träger dieses Demonstrationszentrums wären neben dem Bund oder einer bundeseigenen Einrichtung auch Industrieunternehmen. Somit werden direkt und indirekt Arbeitsplätze geschaffen und vor allem eine Spitzentechnologie am Standort Deutschland gesichert.



So far, the experiences from the Ceramic Composites network show that product implementation for CMC is bound with high technical, but also economical risks. Individual companies, especially SME, are not in a position to master the above-mentioned challenges on their own. The leading companies and research institutes have therefore organized themselves in the Ceramic Composites network in order to make their common interests in the industrial application of CMC heard and take joint action.

Based on the experiences and assessments from the Ceramic Composites members network, the following activities could lead to an intensified utilization of the potentials of CMC:

Joint action

- » Creating the possibility of financing for the commercialization of the internationally recognized know-how available in the German research sector for the production of ceramic fibers. This could be achieved by a larger industrial consortium, which would receive facilitating framework conditions from the federal **economic funding**.
- » Increased **research funding** with a focus on production technology, design and engineering, efficiency and sustainability with the objective of large collaborative projects in which several CMC manufactures and users form a coalition

with the aim of jointly generating and sharing knowledge.

- » The establishment of a **national demonstration center** for CMC applications, in which components are manufactured and tested under realistic conditions. The sponsors of this demonstration center would be the federal government or a federally owned institution as well as industrial companies. This would directly and indirectly create jobs and, above all, safeguard cutting-edge technology in Germany.



Hybridbremse auf dem Prüfstand // Hybrid brake disc on the test bench

Gemeinsam profitieren

Wenn es gelingt, die Werkstoffklasse der Faserkeramiken sowohl in strategischen als auch in breiten Anwendungen zu etablieren, können CMC einen zentralen Beitrag zu den weltweiten klimapolitischen, gesellschaftlichen und ökonomischen Herausforderungen leisten. Die deutsche Industrie stellt damit den technologischen Anschluss zu wettbewerbenen Ländern (z. B. China, USA, Frankreich, Japan) wieder her. Die Mitglieder des Netzwerks Ceramic Composites streben dabei die globale Technologieführerschaft für CMC an. Dazu wollen die im Netzwerk partizipierenden KMU, GU und F&E-Einrichtungen ihre internationale Marktpresenz ausbauen und sich zu Technologieführern weiterentwickeln. Eine starke und etablierte KMU-Industrie ist dabei digital vernetzt und arbeitet partnerschaftlich mit GU und F&E-Einrichtungen zusammen. Durch eine deutliche Reduktion der Herstellungskosten von CMC gelingt der Durchbruch dieser Werkstoffklasse auch in neuen Branchen und Märkten. Deutsche Kerntechnologien, wie die Luft- und Raumfahrt, die Energietechnik und der Maschinen- und Anlagenbau können sich mit Hilfe von CMC zukunftssicherer und wettbewerbsfähiger aufstellen. Durch die langfristige Sicherung und den Ausbau von Arbeitsplätzen am Standort Deutschland wird ein Beitrag zur ökonomischen Souveränität Europas geleistet. Deutschland kann dabei seine globale Vorreiterrolle im Bereich der Energiewende stärken, indem Faserkeramiken zentrale Technologien des Wandels effizienter machen.

„Die Mitgliedschaft im Ceramic Composites ist für uns der Türöffner für neue Märkte.“

//

„For us, membership in Ceramic Composites is the door opener to new markets.“

*Dr. Stephan Schmidt-Wimmer
Head of High Temperature Materials & Technologies, Ariane Group and Board of Ceramic Composites*

Common benefit

If it succeeds to establish the material class of CMC in strategic as well as in broad applications, CMC can make a central contribution to the global challenges faced by climate policy, society and the economy. The German industry is thus reestablishing the technological connection to competing countries (e.g. China, USA, France, Japan). The members of the Ceramic Composites Network are striving for global technological leadership in CMC. For this purpose, the SME, LE and R&D institutions participating in the network want to expand their international market position and develop into technology leaders. A strong and established SME industry is digitally crosslinked and works in partnership with

LE and R&D institutions. By significantly reducing the manufacturing costs of CMC, this class of materials is also making a breakthrough in new industries and markets. With the help of CMC, German core technologies such as aerospace, energy technology and mechanical and plant engineering can become more future-proof and competitive. By securing and creating jobs in Germany over the long term, a contribution is made to Europe's economic sovereignty. Germany can strengthen its global pioneering role in the energy transition by enabling CMC to make key technologies of transition more efficient.



Ceramic Composites



Stand Oktober 2021 // Status Quo October 2021

Kontakt // Contact



Denny Schüppel
 Managing Director Ceramic Composites
 Am Technologiezentrum 5
 86159 Augsburg
 Phone: +49 (0) 821-26 84 11-18
 Mobile: +49 (0) 177-30 67 261
 E-Mail: denny.schueppel@composites-united.com

Impressum // Imprint
 Ceramic Composites
 Network of Composites United e.V. // +49 (0) 821 26 84 11-18 // info@composites-united.com // www.ceramic-composites.com
 CEO Composites United e.V. // Dr.-Ing. Tjark von Reden // VR 37676 B
 Redaktion // Editorial // Denny Schüppel, Ceramic Composites

Ceramic Composites
Netzwerk des Composites United e. V.
Am Technologiezentrum 5
86159 Augsburg
www.ceramic-composites.com

