

# POSITION PAPER

on the Future of Ceramic Matrix Composites



## Vorwort // Foreword

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



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

*Prof. Dr.-Ing. Dietmar Koch*

Das Netzwerk 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 faserverbundkeramischer Lösungen.



*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 of Augsburg*

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

Die Erfahrungen zeigen, dass die Produktumsetzung für Faserverbundkeramiken 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 Ceramic Composites haben sich deshalb die führenden deutschen Unternehmen und Forschungseinrichtungen organisiert, um gemeinsam die Werkstoffklasse der Faserverbundkeramiken voranzubringen und tragfähige Lösungskonzepte für Wirtschaft, Energie, Klima, Mobilität und Sicherheit zu etablieren.



The network Ceramic Composites was founded in 2008 as an association of research institutions and industry partners, is now part of the globally active organization Composites United e. V. and deals with the enabling of 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 extend that lags far behind American, Asian, or French research programs. Nevertheless, the members of Ceramic Composites have achieved a leading research position in international comparison. The task at hand is to accelerate the transfer of knowledge and technology and to stimulate commercial implementation in the industry.

Experience shows that the product implementation for CMC is fraught with high technical and economic risks. In particular SMEs are often unable to master these challenges on their own. Leading German companies and research institutions have therefore organized themselves in the network Ceramic Composites to jointly advance the material class of CMC and to establish viable solution concepts for economy, energy, climate, mobility, and safety.

# Faserkeramik

## Werkstoff mit großem Potenzial

Faserverbundkeramiken oder in Englisch Ceramic Matrix Composites (CMC<sup>1</sup>) zeigen im Gegensatz zu spröden monolithischen Keramiken ein quasiduktiles Materialverhalten. Den bekannten Spruch „Scherben bringen Glück“ können Faserverbundkeramiken daher nicht erfüllen. Gleichzeitig sind Faserverbundkeramiken leicht und im Vergleich zu anderen faserverstärkten Werkstoffen, wie z. B. CFK (kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff), stabil bis zu 1400 °C und korrosionsbeständig. Dies führt zu einer Reihe von Anwendungsvorteilen z. B. hinsichtlich verbessertem Thermoschockverhalten, welche Sprunginnovationen auf Gebieten ermöglichen, die bislang Metallen vorbehalten waren. Faserverbundkeramiken 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 und dem begrenzten Reifegrad der Herstellungstechnologie in Deutschland.

Vor diesem Hintergrund hat sich das Netzwerk Ceramic Composites des Industrieverbandes Composites United e. V. mit fast 60 Mitgliedern aus führenden Unternehmen und Instituten die Aufgabe gestellt, die Entwicklung und Verbreitung der Faserverbundkeramiken 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 Potenziaalausschöpfung erforderlichen Weiterentwicklungen abgeleitet.



<sup>1</sup>CMC bestehen aus Geweben, Gelegen oder Bündeln aus keramischen Endlos- oder Kurzfäsern, die in eine keramische Matrix eingebettet sind. Hierbei werden verschiedene Fasern [Siliziumcarbid- [SiC], Kohlenstoff [C] und Aluminiumoxidfasern [Ox]] mit unterschiedlichen Matrices (ebenfalls SiC, C und Oxide) zur Faserverbundkeramik 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 Thermoschockempfindlichkeit, überwunden.

# Ceramic Matrix Composites

## Material with high potential

because of the insufficient availability of the fiber materials and the limited degree of maturity of the manufacturing technology in Germany.

Against this background, the Composites United e. V. network Ceramic Composites, with almost 60 members from leading companies and institutes, has set itself the task of intensifying the development and dissemination of CMC for the benefit of the German society and economy. This position paper is intended to contribute to this development by showing the future potential of the material class 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.

<sup>1</sup> CMC consist of woven fabrics, non-crimp fabrics or rovings of continuous or short ceramic 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 CMC (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 sensitivity to thermal shock.

## Herausforderungen begegnen

Dass globale 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 der Energie- und Verkehrswende, dem Green Deal und einem Fokus auf der Wasserstoffwirtschaft. Für die Dekarbonisierung der Energiewirtschaft und Mobilität besitzen insbesondere regenerativ-nachhaltig erzeugter Wasserstoff und seine Derivate großes Potential als emissionsfreie Energieträger für die Mobilität und Strom- und Prozesswärmeezeugung. Hierfür sind in vielen Teilprozessen thermische Umsetzungsprozesse erforderlich, deren Wirkungsgrade mit zunehmender Prozesstemperatur markant steigen. So werden beim konventionellen thermischen Cracken aus Naphtha unter Wirken erhöhter Temperaturen und CO<sub>2</sub>-Ausstoß rohe Olefine in Verbrennungsöfen mit primär metallischen Rohrsystemen gewonnen. Aktuelle Entwicklungsaufwände streben stark in die Richtung elektrisch beheizter Steam-cracking-Öfen („eFurnaces“), in die erneuerbare elektrische Energie eingespeist werden kann. Eine entsprechende Technologie hat das Potenzial, die

CO<sub>2</sub>-Emissionen des Prozesses signifikant zu reduzieren. An dieser Stelle stellen Faserverbundkeramiken aufgrund ihrer hohen Temperaturbeständigkeit und Stabilität gegenüber aggressiven Medien neue Schlüsselkomponenten dar. Oxidische CMC weisen in Kombination mit monolithischen Oxidkeramiken eine hervorragende Eignung als alternative Rohrmaterialien in der Anwendung auf, da sie eine optimierte Stromverteilung sowie erhöhte Effizienz und Laufzeit im Vergleich zu Metallspulen versprechen.

Auch bei der Verkehrswende leisten Faserverbundkeramikbauteile wirksame Beiträge als Wert schöpfungsmultiplikator, beispielsweise in Triebwerken moderner Flugzeuge und Antrieben im Last- und Schiffsverkehr, die in der Regel leistungsbestimmende Komponenten für das betrachtete Gesamtsystem darstellen. Darüber hinaus bietet die Werkstoffklasse eine hohe, synergistische Querschnittswirkung im Bereich der Produktionstechnik, chemischen Verfahrenstechnik, thermobasierten Grundstoffindustrie und im Maschinen- und Anlagenbau, wobei Faserverbundkeramiken an vielfältigen Stellen dazu beitragen können Effizienz zu steigern, Ressourcen zu sparen, Emissionen zu senken und Lebenszyklen zu verlängern.

The fact that global challenges also require great efforts at the national level can be seen in the programs of the German government. The requirements of climate change, the growth of the world's population and the increasing scarcity of resources are leading to longterm German development strategies, such as the energy transition and mobility transformation, the Green Deal and the focus on the hydrogen economy. For the decarbonization of the energy industry and mobility sector, regenerative, sustainably produced hydrogen and its derivatives have great potential as emission-free energy sources for mobility, electricity and process heat generation. This requires thermal conversion processes in many sub-processes, with efficiencies increasing significantly with increasing process temperature. In conventional thermal cracking, crude olefins are extracted from naphtha under the influence of elevated temperatures and CO<sub>2</sub> emissions in incinerators with primarily metallic pipe systems. Current development efforts are strongly striving in the direction of electrically heated steam cracking furnaces („eFurnaces“), which can be fed with renewable electrical energy. Such

technology has the potential to significantly reduce the CO<sub>2</sub> emissions of the process. In this context, CMC represent new key components due to their high temperature resistance and stability against aggressive media. Ox-CMC, in combination with monolithic oxide ceramics, are excellently suited as alternative pipe materials in the application, as they promise optimized power distribution as well as increased efficiency and runtime compared to metal coils.

CMC also make effective contributions as value multipliers in the mobility transformation, for example in the engines of modern aircraft and in propulsion systems in freight and ship transport, which usually represent performance-determining components for the overall systems. In addition, the material class offers a high, synergistic cross-sectional effect in the fields of production technology, chemical process engineering, thermo-based primary industry, and mechanical and plant engineering, where CMC can contribute to increasing efficiency, saving resources, reducing emissions, and extending life cycles in a variety of places.

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

Dr. Hagen Klemm, Arbeitsgruppenleiter im Ceramic Composites

*„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, Working Group Leader in Ceramic Composites

## Facing challenges

## Herausforderungen begegnen

Neben einer nachhaltigen Gestaltung der Zukunft rücken stetig globalpolitische Konflikte in das Zentrum der Gesellschaft, womit auch eine verstärkte technologische nationale Auslegung einhergeht. Die Rüstungsindustrie zählt mit rund 60.000 Beschäftigten und mehr als 11 Mrd. Euro Umsatz zu den innovationsstarken Wirtschaftsbranchen. Auch an dieser Stelle sind Composites wichtige Werkstoffe für viele Anwendungen wie z. B. in Triebwerken von eingesetzten Flugkörpern, die in Niederdruck- wie Hochdruckzonen auch in hohen Temperaturbereichen herausragende Eigenschaften aufweisen müssen. Faserverbundkeramiken mit einer bis zu 260 °C höheren Temperaturbeständigkeit als in der Anwendung etablierte Nickellegierungen weisen lediglich einen Bruchteil der Dichte von Nickelbauteilen auf, was ausschlaggebende Vorteile in entsprechend herausfordernden Umgebungen birgt. Um eine belastbare zentraleuropäische Wertschöpfungskette im Verteidigungssektor sicherstellen zu können, spielen zukünftig auch CMC eine signifikante Rolle, die die Verzahnung von KMU und GU erfordert, um Handlungssicherheit, Schnelligkeit und Maintenance vereinen zu können.<sup>i</sup>

Zuletzt muss auch die hohe Wirtschaftskraft des Standorts Deutschlands gesichert werden, wofür eigene disruptive Sprunginnovationen unumgänglich sind. Hierfür sind, mitunter zwingend, neue werkstoffliche Ansätze und Lösungen erforderlich, die durch den Einsatz von Faserverbundkeramik umgesetzt werden können. Davon abgeleitete neue Produktionsverfahren und Produkte,

auch unter konsequenter Nutzung von Digitalisierung, können den Produktionsstandort Deutschland stärken, weiter ausbauen und neue Wettbewerbsfähigkeiten ermöglichen. Wettbewerbende Länder wie China, Japan, Frankreich oder USA fördern nämlich die Entwicklungen dieser Werkstoffklasse aufgrund des enormen Potentials von Faserverbundkeramiken bereits deutlich. Trotz dessen konnte sich Deutschland auf diesem Gebiet eine weltweit führende Forschungsposition erarbeiten, die es nun zu sichern gibt. Zudem gilt es, diese Führungsrolle auch in eine führende Marktposition zu übertragen. Ceramic Composites mit seinem deutschlandweiten Mitgliedernetzwerk will dazu beitragen und sieht seine Aufgabe im industriellen wie auch politisch-gesellschaftlichen Umfeld.



## Facing challenges

In addition to a sustainable shaping of the future, global political conflicts are constantly moving into the center of society, which is also accompanied by an increased technological national action. With around 60,000 employees and a turnover of more than 11 billion euros, the defense industry is one of the most innovative economic sectors. In this context again, composites are important materials for many applications, such as in the engines of missiles, which must have outstanding properties in low- and high-pressure zones, even in high temperature ranges. CMC with a temperature resistance of up to 260 °C higher than nickel alloys, that are established in the application, only have a fraction of the density of nickel components, which offers decisive advantages in challenging environments.

To be able to ensure a resilient European value chain in the defense sector, CMC will also play a significant role in the future, which requires the interlinking of SMEs and general contractors to be able to combine operational reliability, speed, and maintenance.<sup>i</sup>

Finally, the high economic power of Germany as a business location must be secured, for which own disruptive leap innovations are unavoidable. This requires new material approaches and solutions that can be implemented using CMC. New production processes and products derived from this, also with consistent use of digitalization, can strengthen and further expand Germany as a production location and achieve new competitive capabilities. Competing countries such as China, Japan, France, or America are already significantly promoting the development of CMC due to the enormous potential of the material class. Despite this, Germany has been able to establish a world-leading research position in this field, which must be secured now. In addition, it is important to transfer this leadership role into a leading market position. Ceramic Composites, with its Germany-wide network of members, wants to contribute to this and sees its task in the industrial as well as political and social implementation of CMC.

<sup>i</sup> <https://www.assemblymag.com/articles/94062-interest-in-ceramic-matrix-composites-heats-up>

# Lösungen erschließen

## Mobilität der Zukunft

CMC können höchstleistungsfähige Schlüsselkomponenten bereitstellen, da sie das Leistungs- und Umweltprofil gesamter technischer Systeme und Verfahren maßgeblich bestimmen und die finale Wertschöpfung markant steigern können. Die Werkstoffklasse kann ihre Qualitäten dabei über zahlreiche Anwendungen hinweg ausspielen und auch interdisziplinäre Lösungen bieten.

Die zukünftigen Mobilitätskonzepte des Personenverkehrs setzen ausschließlich auf Elektroantriebe mittels Batterie oder Brennstoffzelle. Im straßengebundenen Schwerlastverkehr und in der Schiffsfahrt haben Verbrennungsmotoren mittelfristig allerdings noch nicht ausgedient. Hier können moderne **Gas- und Wasserstoffmotoren** eine Lösung auf dem Weg zu „grünen“ Antrieben bieten.

Hybride Brems Scheibe aus Faserverbundkeramik und Metall für die Anwendung in der Elektromobilität und im Schienennverkehr // Hybrid brake disc made of CMC and metal for application in BEV and rail transport  
© University of Bayreuth – CME



## Access to solution

### Mobility of the future

Da insbesondere die direkte Verbrennung von Wasserstoff konventionelle Motorendesigns durch Wasserstoffversprödung und Schmiermittelzerstörung stark schädigt, sind Faserverbundkeramiken eine potenziell wegbereitende Zukunftslösung, die neben der thermischen und mechanischen Schadenstoleranz auch mögliche reibungsarme und selbstschmierende Eigenschaften durch Oberflächenfunktionalisierung bieten.

Die Leichtbau-Eigenschaften von CMC finden darüber hinaus seit Jahren Anwendung in Bremsystemen. **CMC-Bremsen** sind korrosionsfest, wartungsarm und hoch effektiv. Zukünftige CMC- (oder CMC-Hybrid-) Bremscheiben sparen in Elektro- und Schienenfahrzeugen Gewicht und verbessern die Notbremseigenschaften. Wie neuere Studien zeigen, wird auch die Feinstauberzeugung durch CMC-Bremsen deutlich reduziert, da zum einen keine Korrosionsprodukte freigesetzt werden und andererseits der „Volumenabrieb“ geringer als bei metallischen Produkten ausfällt.

//

CMC provide high-performance key components as they can determine the performance and environmental profile of entire technical systems and processes and significantly increase the final value chain. The material class can demonstrate its qual-

ities across numerous applications and offer interdisciplinary solutions.

The future mobility concepts for passenger transport will rely exclusively on electric vehicles using batteries or fuel cells. In road-based heavy-duty transport and shipping, however, combustion engines have not yet become obsolete in the medium term. Here, modern **gas and hydrogen engines** can offer a solution on the way to “green” drives. Since the direct combustion of hydrogen severely damages conventional engine designs through hydrogen embrittlement and lubricant destruction, CMC are a potentially pioneering solution for the future, which, in addition to thermal and mechanical damage tolerance, also offer possible low-friction and self-lubricating properties through surface functionalization.

The lightweight properties of CMC have also been used in braking systems for years. **CMC brakes** are corrosion-resistant, low-maintenance and highly effective. Future CMC (or CMC hybrid) brake discs will save weight and improve emergency braking properties in electric and rail vehicles. As recent studies show, the generation of particulate matter by CMC brakes is also significantly reduced, as on one hand no corrosion products are released into the environment and on the other hand the “volume abrasion” is lower than with metallic products.

# Lösungen erschließen

## Nachhaltige Energiekonzepte

Wasserstoff wird in der Zukunft ein unverzichtbarer Energieträger sein. Neben der **Wasserstofferzeugung** durch Elektrolyse mittels regenerativer Elektrizität (grüner Wasserstoff) wird die Wasserstoffgewinnung durch Sektorenkopplung auch aus Biogas und befristet aus fossilen Energieträgern (grauer Wasserstoff) durch Reformierung von Be deutung sein. Neben der direkten Wasserstoffgewinnung können so auch Derivate (Power-to-Gas), wie z. B. Synthesegas, gewonnen werden, u. a. auch als Rohstoff für die chemische Industrie. Insbesondere bei der Trockenreformierung kann die Pro zesseffizienz durch höhere Prozesstemperaturen über 1.000°C erheblich, auf bis zu 70 % gesteigert werden. Für entsprechende Temperaturbereiche sind metallische Reaktorröhren nicht mehr geeignet, Faserverbundkeramiken allerdings erlauben die hohen Reformierungstemperaturen und einen nachhaltigen, sicheren Anlagenbetrieb. Die Hoch temperatur-Trockenreformierung könnte somit durch den Einsatz von CMC zu einem leistungs starken Bestandteil der Wasserstoffwirtschaft für alle Arten der Umsetzung von Wasserstoff werden (z. B. Power-to-Chemicals, Power-to-Fuel), einschließlich der Rückverstromung in Gaskraftwerken oder Brennstoffzellen.

Mit der zunehmenden Nutzung von Wasserstoff wird auch wasserstoffhaltiges Brenngas für **stationäre Gasturbinen** stetig relevanter. 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, hohe Betriebszyklen im Stundenwechsel sowie unterschiedliche Brennstoffgemische mit Wasserstoff. Faserverbundkeramiken mit ihrer geringen Dichte, hohen thermischen Wechseltemperaturfestigkeit und chemischen wie thermischen Stabilität bis in hohe Temperaturbereiche sind hier ein prädestinierter Werkstoff für Schlüsselkomponenten im Heißgas bereich.

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

Hydrogen will be an indispensable energy source in the future. In addition to **hydrogen production** via 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 one hand, it will be used for direct hydrogen production and, on the other hand, to produce derivatives (power-to-gas), such as a synthesis gas, amongst others as 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. Metallic reactor tubes are no longer suitable for the corresponding temperature ranges, but CMC allow such high reforming temperatures and additionally sustainable, safe plant operation. High-temperature dry reforming could thus become a powerful part of the hydrogen economy for all types of hydrogen conversion (e.g. power-to-chemicals, power-to-fuel) using CMC, including reconversion into gas-fired power plants or fuel cells.

With the increasing use of hydrogen, hydrogen-containing fuel gas is also increasingly being used for **stationary gas turbines**. Even though gas turbines are currently regarded as a bridging technology, they will continue to be necessary in the future for sector coupling, the use of renewable gases to compensate for the fluctuations of renewable energy sources and to provide large local output volumes. Above all, future gas turbines will require a high degree of application rate flexibility for fast start-up in just a few minutes, high operating

# Access to solutions

## Sustainable energy concepts

cycles in hourly cycles and different fuel mixtures with hydrogen. CMC with their low density, high resistance to alternating temperatures and chemical and thermal stability are predestined materials for key components in the hot gas sector.

The same applies to containments made of CMC. For **electronic and battery or fuel cell housings** their non-combustibility combined with electrical insulation could provide greater safety, also in the critical environment of aircraft technology. In principle, containers made of CMC are also suitable for the safe and long-term storage of environmentally critical waste, which could be important for the **long term storage of nuclear waste** where new concepts taking advantage of the high chemical stability of CMC could be demonstrated. Leaks due to corrosion and contamination of the environment or groundwater could be completely ruled out – however, testing of CMC storage tanks is still pending.

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

//

*„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

## Effiziente Produktionstechnik

Im gesamten Bereich der Produktionstechnik, von der **chemischen Industrie bis zum Maschinen- und Anlagenbau** können Faserverbundkeramiken wertvolle Befähiger sein, um die Energieeffizienz zu verbessern, Primärenergie einzusparen, Emissionen zu reduzieren, Prozesssicherheit zu steigern und Anlagenverfügbarkeit und -lebensdauer zu verlängern. Bestehende und zukünftige Anwendungsbeispiele für CMC in der Thermoprozesstechnik sind unter anderem **Chargiergestelle**, **CMC-armierte Rohrleitungen**, **Rinnen und Behälter** für den Metallguss, **Wärmeisolationsschürzen** in der

**Stahlerzeugung**, **keramische Walzwerkzeuge**, **Formen für die Glasherstellung** und **Brennerdüsen im Ofenbau**.

Neu anzudenken sind darüber hinaus z. B. Bearbeitungswerkzeuge aus Faserverbundkeramik. Werkzeughersteller spüren zunehmend die Folgen der Rohstoffverknappung des Sondermetalls Cobalt für Wolframcarbid-Cobalt-Schneidplatten. Eine werkstofflich speziell ausgerichtete Faserverbundkeramik könnte an dieser Stelle eine Werkstoffrevolution bedeuten.



Tiegelform für den Metallguss // Crucible mold for metal casting, © DLR WF-BT

# Access to solutions

## Efficient production technology

In the entire field of production technology, from the **chemical industry to mechanical and plant engineering**, CMC can be valuable enablers for improving energy efficiency, saving primary energy, reducing emissions, increasing process reliability, and extending plant availability and service life. Existing and future application examples for CMC in thermal process technology include **charging racks**, **CMC-reinforced piping**, **gutters and containers for metal casting**, **thermal insulation aprons in steel production**, **rolling tools**, **molds for glass production** and **burner nozzles in furnace construction**.

Machining tools made of CMC, for example, should also be reconsidered. Tool manufacturers are increasingly feeling the consequences of the shortage of raw materials such as cobalt for the manufacturing of special tungsten-carbide-cobalt inserts. A material-specific CMC could be a material revolution in this context.



Chargengestell aus Faserkeramik für die Wärmebehandlung von Stahl // Charging frame made of CMC for heat treatment of steel, © WPX Faserkeramik GmbH

*„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  
former Managing Director, Hufschmied Zerspanungssysteme GmbH,  
former member of the Board of Ceramic Composites

# Lösungen erschließen

## Richtungsweisende Luftfahrt

Was CFK für Flugzeugstrukturen bedeuten, sind Faserverbundkeramiken beispielsweise für **Fluggasturbinen**: Ob Flammhalter, Flammrohre, Brennkammerauskleidung oder Leit- und Laufschaufern im Heißgasbereich, CMC-Bauteile reduzieren das Gewicht, erlauben höhere Gastemperaturen und sparen Kühlleistung – in Summe bedeutet das weniger Treibstoffbedarf und eine entsprechende Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Durch Nutzung von Faserverbundkeramiken kann es gelingen einen umweltschonenden Flugverkehr zu statuieren (europäische Luftfahrtvision „Flightpath 2050“) und die klimaschutzpolitischen Ziele der Bundesregierung mit einer Reduktion von 40 % CO<sub>2</sub>-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 und eine gleichzeitige Reduktion des Bau teilgewichts (- 40 %), wodurch der Wirkungsgrad um ca. 5 % erhöht wird. Dies führt z. B. für die Flotte einer großen Fluggesellschaft zur Verringerung des CO<sub>2</sub>-Austoßes um mehrere Megatonnen pro Jahr.

General Electric (GE) in den USA hat die CMC-Technologie für Fluggasturbinen bereits im Markt positioniert und bereitet sich auf eine Großserienfertigung vor. Ebenfalls verstärkte das US-Unternehmen Pratt & Whitney in den letzten Jahren seine Entwicklungsaktivitäten in die technologische Richtung von CMC mit der Eröffnung einer eigenen F&E-Einrichtung, wobei ein klarer Fokus noch auf metallischen Werkstoffen liegt. In Europa besitzt Rolls-Royce, das drittrelevanteste Unterneh-

men auf dem Triebwerksmarkt hinter GE und Pratt & Whitney, ebenfalls Entwicklungsaufwände für CMC, wobei ein Teil bereits in Komponentenform überführt wurde. Vor allem Deutschland hinken entsprechenden Entwicklungen 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.



What CFRP is for aircraft structures, CMC are for **aircraft turbines**: whether looking at 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 CO<sub>2</sub> 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 % CO<sub>2</sub>-equivalent by the year 2030. In this specific case, the use of SiC/SiC-CMC leads to an increase in the combustion temperature of aviation gas turbines to approx. 1,300 °C and a simultaneous reduction in the component weight (- 40 %), which increases the efficiency by approx. 5 %. This for example leads to a reduction in CO<sub>2</sub> emissions by several megatons per year for the fleet of a major airline. General Electric (GE) in the US has already positioned the CMC technology for aircraft gas turbines in the market and is preparing for large-scale production. The US company Pratt & Whitney has also strengthened its development activities in the technological direction of CMC in recent years with the opening of its own R&D facility, with the focus remaining on metallic materials though. In Europe, Rolls-Royce, the third most important company in the engine market after GE and Pratt & Whitney, also has development efforts for CMC, some of which have already been converted into component form. Germany is lagging such developments, in some cases significantly. If we do not want to leave this strategic area to foreign competition and, in the future, to China, steps must be taken by industry and politics beyond the current framework.

Flugzeugturbine eines Personennflugzeugs als Einsatzort für CMC // Airplane turbine of a passenger airplane as the application site for CMC

# Access to solutions

## Trend-setting aviation

## Lösungen erschließen

### Wettbewerbsfähige Raumfahrt

Im Bereich der Raumfahrt, in dem Deutschland zu den weltweiten Technologietreibern zählt, sind CMC der Stand der Technik für z.B. **Hitzeschutzsysteme und bewegliche Steuerklappen** und werden darüber hinaus zur Herstellung leichter Raketentriebwerke verwendet, die weniger Kühlluft benötigen, beispielsweise in **Düsen, Brennkammerauskleidungen** und im **Abgassystem**, wobei Faserverbundkeramiken ebenfalls die Schalldämpfung verbessern können und durch ihre Abrieb- und Korrosionsbeständigkeit eine lange Lebensdauer, auch im Weltraum besitzen. Für einen verstärkten Einsatz der Werkstoffklasse in der Raumfahrt darüber hinaus bedarf es weiterer Optimierungen der Mikrostruktur, weitere Forschung zu Schadensakkumu-

lationsmechanismen, Methoden und Modelle zur Lebensdauervorhersage, zerstörungsfreie Inspektionstechniken und robuste Reparaturmethoden auf Feld- und Depotebene. Letztere werden vor allem vor dem Hintergrund der vorreitenden Entwicklung hin zu wiederverwendbaren Raumfahrt systemen wichtig. Internationale Konkurrenzunternehmen wie SpaceX, Blue Origin und chinesische Einrichtungen wettbewerben in diesem Technologiebereich seit vielen Jahren intensiv und setzen den Stand der Technik stetig neu. Damit auch die europäische Raumfahrtindustrie hier kompetitiv bleibt, sind ebenfalls Entwicklungssprünge im Bereich der CMC nötig.<sup>ii,iii</sup>

ii <https://mdtdiamonds.com/solutions/solutions-forceramics/>

iii <https://ceramics.org/ceramic-tech-today/ceramic-matrix-composites-make-inroads-in-aerospace/>



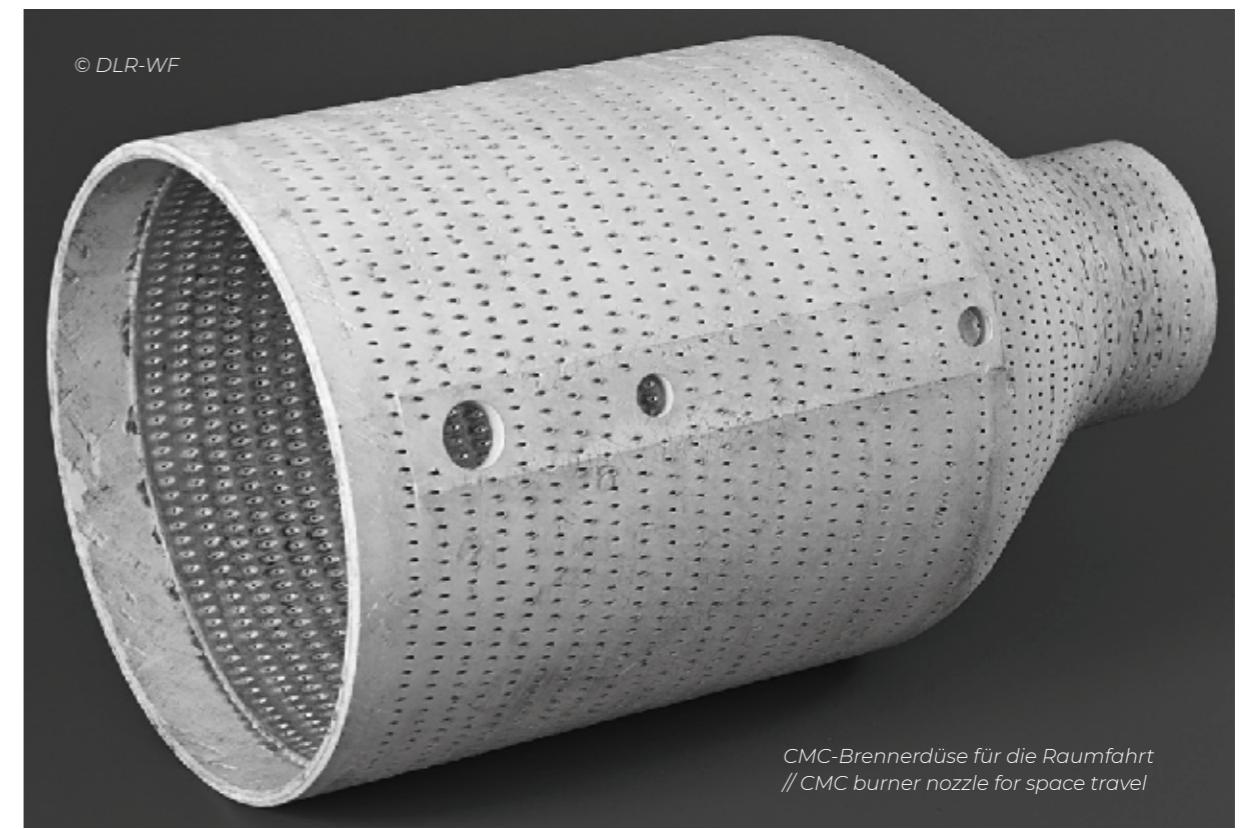
Düsen-Demonstratoren für Raumfahrtanwendungen // Nozzle demonstrators for aerospace applications, © DLR

## Access to solutions

### Competitive space technologies

In the field of space technologies, in which Germany is one of the world's drivers, CMC are the state of the art for e.g. **heat protection systems and movable control flaps**. CMC are also used to manufacture light rocket engines that require less cooling air, for example in **nozzles, combustion chamber linings** and **exhaust systems**, where CMC can also improve sound insulation and have a long service life due to their abrasion and corrosion resistance, even in space. In addition to this, further optimization of the microstructure, further research into damage accumulation mechanisms, methods and models for lifetime prediction, non-destructive inspection

techniques and robust repair methods at field and depot level are required for increased use of the material class in space travel. The latter are becoming particularly important against the background of the pioneering development towards reusable space systems. International competitors such as SpaceX, Blue Origin and Chinese institutions have been competing intensively in this technology area for many years and are constantly setting the state of the art anew. For the European space industry to remain competitive in this area, leaps in development are also necessary in the field of CMC.<sup>ii,iii</sup>



CMC-Brennerdüse für die Raumfahrt // CMC burner nozzle for space travel

# Lösungen erschließen

## Reaktionsfähige Verteidigung

Überschall- und Hyperschallflugkörper stellen eine einzigartige Herausforderungen an die strukturelle Integrität kritischer Komponenten, wofür CMC eine vielversprechende Materialklasse sind, beispielsweise für Vorderkanten entsprechender Flugkörper. **Stratosphären-Gleitflugkörper** werden exemplarisch in der Regel von **Interkontinentalraketen** in den niedrigen Orbit (ca. 100 km Höhe) transportiert, die hohe Beschleunigungen und Geschwindigkeiten erreichen und dem Flugkörper so eine ausreichende Startgeschwindigkeit mitgeben. Die US-amerikanische „LGM-118 Peacekeeper“ erzielte z. B. eine Brennschlussgeschwindigkeit über 24.000 km/h. Nach Abkopplung von der Rakete fliegt der Flugkörper in einem flachen Winkel auf die oberen Atmosphärenschichten herab, worauf er in wellenförmiger Flugbahn in Richtung des Zielgebiets gleitet. Während seines Fluges sind Ge-

schwindigkeiten im Bereich Mach 20-27 denkbar, wodurch enorme Reibungshitze ein heißes Plasma auf der Flugkörper-Oberfläche entstehen lässt (2.000-2.500 °C), was **hocheffiziente Hitzeschilde** unumgänglich macht. Beim Wiedereintritt in die Atmosphäre mit Hyperschallgeschwindigkeit wird zuletzt in kürzester Zeit durch Abbremsen weitere Wärme erzeugt, was eine erneute Temperaturerhöhung des Körpers bedeutet. Die Vorteile eines Einsatzes von Hochtemperatur-CMC in jeder dieser Flugphasen liegen klar auf der Hand: um den entstehenden enorm hohen Temperaturen standhalten zu können, braucht es ein entsprechend geeignetes Material. Faserverbundkeramiken bleiben beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre intakt und ermöglichen eine Wiederverwendbarkeit, was sie im Vergleich zu anderen Werkstoffen attraktiv macht.

**Supersonic and hypersonic missiles** pose unique challenges to the structural integrity of critical components, for which CMCs are a promising class of materials, for example for leading edges of corresponding missiles. **Stratospheric gliding missile** are usually brought into low orbit (about 100 km altitude) by **intercontinental rockets**, which reach high acceleration and speed and thus give the missile a sufficient take-off speed. The US „LGM-118 Peacekeeper“, for example, reached a combustion speed over 24,000 km/h. After undocking from the rocket, the missile flies down to the upper layers of the atmosphere at a shallow angle, whereupon it glides in an undulating trajectory towards the target area. During its flight, speeds are in the range Mach 20-27, with the enormous frictional heat causing a hot plasma on the missile surface

# Access to solutions

## Responsive Defense

(2.000-2.500 °C), which makes **highly efficient heat shields** unavoidable. When finally re-entering the atmosphere with hypersonic speed, further heat is generated in a very short time by deceleration, leading to a further increase in the temperature of the body. The advantages of using high-temperature CMC in each of these flight phases are obvious: to be able to withstand the enormously high temperatures that arise, a suitable material is required. CMC remain intact upon re-entry into the earth's atmosphere and allow for reusability, making them attractive compared to other materials.

Nachbrenner eines Militärflugzeugs mit Düsenstrahltriebwerk // Afterburner of a military airplane with a jet engine

© Shutterstock



# Lösungen erschließen

## Reaktionsfähige Verteidigung

Das australische Raumfahrt-Start-Up Hypersonix setzte daher zuletzt intern entworfene C/SiC-Demonstratorteile ein, die von einem Team um deutsche Experten gefertigt wurden. Allgemein hat Hypersonix Entwicklungsarbeit in Richtung Hochtemperatur-CMC erheblich zugenommen, da das US-Verteidigungsministerium, mit dem das Startup kollaboriert, starke Bestrebungen zur Entgegenwirkung von Bedrohungen durch Hyperschallwaffen besitzt. Das Unternehmen fertigt daher Hyperschalllösungen für das „Hypersonic and High-Cadence Airborne Testing Capabilities (HyCAT)“-Programm des Verteidigungsministeriums. Hypersonix entwickelt drei Hyperschallfahrzeuge, die auf dem patentierten wasserstoffbetriebenen Scramjet-Triebwerk „Spartan“ basieren, das keine CO<sub>2</sub>-Emissionen erzeugt und aus Hochtemperatur-CMC gebaut sein wird. Entsprechende Scramjet-Triebwerke aus CMC versprechen schnellere Fluggeschwindigkeiten bei längeren Missionen, indem sich das selbstzündende Triebwerk während des Fluges mehrmals aus- und wieder einschaltet. Derartige zyklische thermische und mechanische Materialbeanspruchungen können von Faserverbundkeramiken bewältigt werden. Bisher handelt es sich bei „Spartan“ lediglich um einen Fertigungsdemonstrator aus C/SiC als etabliertes CMC. Langfristig könnten aber auch neuartige UHT-CMC nötig werden, die in noch höheren Temperaturbereichen arbeiten können (Auslegung bisher bis Mach 10).

**Micro-Launcher, Mini-Raketen** und **Drohnen** sind abschließend Anwendungen, die aktuell ein rapi-des Wachstum aufweisen und für viele Startups und etablierte Firmen neue Produktmöglichkei-ten offenbaren. CMC bieten hier mit Blick auf ther-mischen und mechanischen Schutz, Wiederver-wendbarkeit oder spektrale Transmissions- und Reflektionseigenschaften bislang noch nicht aus-geschöpfte Lösungen.

Neben den genannten Flugkörpern finden sich CMC auch in militärischen **Strahltriebwerken für bemannte Jets** und in **Hubschraubermotoren**. So werden beispielsweise **Mischer** aus CMC (Ox/Ox) in Triebwerken eingesetzt, um die Mischung heißer Kerntriebwerksabgase mit der kühleren Bypassluft zu verbessern. Je effizienter sich diese Luftströme vermischen, desto besser ist der spezifische Kraft-stoffverbrauch und die Motoreffizienz, bei einer gleichzeitigen Reduktion des Motorlärms und ver-besserter akustischer Ermüdung durch Vibration im Vergleich zu z. B. Titan. Weiter werden auch **Ab-gasdüsen** wie z. B. die eines F-16 Fighting Falcon F100-Triebwerks mit Faserverbundkeramik-Kom-ponenten gebaut, in diesem Fall mit fünf A500-Di-vergent-Dichtungen aus SiC/SiC.

The Australian space start-up Hypersonix therefore recently used internally designed C/SiC demon-strator parts, which were manufactured by a team led by German experts. In general, Hypersonix has significantly increased development work towards high-temperature CMC, as the U.S. Department of Defense, with which the startup collaborates, has strong efforts to counter threats from hypersonic weapons. The company therefore manufactures hypersonic solutions for the Department of De-fense's Hypersonic and High-Cadence Airborne Testing Capabilities (HyCAT) program. Hypersonix is developing three hypersonic vehicles based on the patented hydrogen-powered scramjet engine „Spartan“, which does not emit CO<sub>2</sub> and will be built from high-temperature CMC. Correspond-ing scramjet engines made of CMC promise faster flight speeds on longer missions, as the compres-sion-ignition engine switches off and on again sev-eral times during the flight. Such cyclic thermal and mechanical material stresses can be mastered by CMC. So far, „Spartan“ has only been a produc-tion demonstrator made of C/SiC as an established CMC, but in the long-term new types of UHT-CMC that can work in even higher temperature ranges (design up to Mach 10 so far) may also be necessary.

**Micro-launchers, mini-missiles**, and **drones** are ap-plications that are currently showing rapid growth and are opening new product opportunities for many startups and established companies. CMC offer solutions that have not yet been exhausted in terms of thermal and mechanical protection, reusability or spectral transmission and reflection properties.

In addition to missiles, CMC are also found in mil-itary **jet engines for manned jets** and in **helicopter engines**. For example, **mixer structures** in engines to improve the mixture of hot core engine exhaust gases with the cooler bypass air are made of CMC (Ox/Ox). The more efficiently these air flows mix, the better the specific fuel consumption and en-gine efficiency, while at the same time reducing engine noise and improving acoustic fatigue due to vibration compared to titanium. Furthermore, **exhaust nozzles** such as that of an F-16 Fighting Falcon F100 engine are built with CMC, in this case with five A500 divergent seals made of SiC/SiC.

# Access to solutions

## Responsive Defense



## Lösungen erschließen // Access to solutions

### Reaktionsfähige Verteidigung // Responsive Defense

Zusammenfassend sind Hochtemperatur-CMC die Werkstoffe der nächsten Generation für den Verteidigungssektor, die unter rauen thermischen und mechanischen Bedingungen, die für Flüge mit hoher Machzahl erforderlich sind, wiederholt höchste Leistungen erbringen können. Außereuropäische Staaten fördern seit geraumer Zeit die Eruierung des Potenzials von CMC in der entsprechenden Anwendung, wobei Regierungsinstitutionen gezielt mit wichtigen CMC-Akteuren zusammenarbeiten. Solche Förderungen sind auch in Europa für die Aufstellung einer schlagfertigen Verteidigung unverzichtbar und werden vom Ceramic Composites explizit anvisiert.<sup>iv, v, vi, vii, viii, ix, x, xi</sup>

In summary, high-temperature CMC are the next-generation materials for the defense sector that can repeatedly perform at their best in the harsh thermal and mechanical conditions required for high-Mach number flights. Non-European countries have been promoting the exploration of the potential of CMC in the corresponding application for some time, with government institutions working together with key CMC actors in a targeted manner. Such subsidies are also indispensable in Europe for the establishment of a quick-witted defense and are explicitly targeted by the network Ceramic Composites.<sup>iv, v, vi, vii, viii, ix, x, xi</sup>

<sup>iv</sup> <https://www.sae.org/news/2018/07/ceramic-matrix-composites-in-aircraft-engines-projected-to-double-over-five-years-stratview-research-predicts>

<sup>v</sup> <https://ceramics.org/ceramic-tech-today/ceramic-matrix-composites-make-inroads-in-aerospace/>

<sup>vi</sup> [https://www.aiaa.org/docs/default-source/uploadedfiles/education-and-careers/university-students/design-competitions/3rd-place-missile-system.pdf?sfvrsn=68ffab36\\_0](https://www.aiaa.org/docs/default-source/uploadedfiles/education-and-careers/university-students/design-competitions/3rd-place-missile-system.pdf?sfvrsn=68ffab36_0)

<sup>vii</sup> Neue russische Rakete soll 27-mal so schnell sein wie der Schall. In: Handelsblatt.de. 27. Dezember 2018, abgerufen am 27. Dezember 2019; Ralf Krauter: Hyperschall-Technologie – „Fragestellungen gibt es noch eine ganze Menge“. Dirk Zimper im Gespräch. In: Deutschlandfunk-Sendung „Forschung aktuell“. 2. März 2018, abgerufen am 17. Januar 2019; Putin testet seine neue Überschallwaffe „Avangard“. In: Welt Online. 26. Dezember 2018, abgerufen am 27. Dezember 2019.

<sup>viii</sup> James M. Acton: Hypersonic Boost-Glide Weapons

<sup>ix</sup> <https://www.asdnews.com/news/defense/2023/10/11/new-era-ceramic-matrix-composites>

<sup>x</sup> <https://www.asdnews.com/news/aviation/2023/06/08/high-temperature-composite-scramjet-manufacturing-pilot-successfully-completed>

<sup>xi</sup> <https://www.compositesworld.com/articles/ceramic-matrix-composites-hot-engine-solution>

Faserverbundkeramiken sind **Hochleistungswerkstoffe mit strategischer Bedeutung** für einen großen Teil der beschriebenen Applikationspotenziale. Eine Energiewende ohne Hochtemperaturleichtbau mit Faserverbundkeramik 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. Hochwertige Fasern aus Siliciumcarbid oder Aluminiumoxid werden kommerziell nicht innerhalb Deutschlands oder der EU hergestellt. Somit besteht eine substantielle Abhängigkeit von Herstellern in den USA und Japan, die teilweise bereits durch Exklusivverträge mit außereuropäischen Anwendern gebunden sind. Zwar sind in Deutschland inzwischen einige wenige Faserpilotanlagen in Betrieb, in denen Prototypfasern mir sehr hoher Qualität erzeugt werden, eine industrielle Serienfertigung steht jedoch noch aus. Dies ist vorwiegend dem damit verbundenen hohen unternehmerischen Risiko geschuldet und könnte z. B. durch Anschubfinanzierungen erleichtert werden.

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 gesam-

te Bauteilherstellung einschließlich Produktionsausbeute. Die Produktion von CMC ist teilweise nicht auf große Massenströme ausgelegt. **Automatisierung** und innovative Prozesstechniken können hier für wichtige Fortschritte sorgen.



CMC are **high-performance materials with strategic importance** for a large part of the application potentials described. An energy transition without high-temperature lightweight construction with CMC will only succeed in part. For many manufacturing industries, synergy effects offer an addi-

tional economical effect. But there remains a lot to do until then. Several challenges remain unsolved, from fundamental questions of material behavior to logistical issues of fiber supply.

At present, the **availability of large quantities of continuous ceramic fibers** is not given. High-quality fibers made of silicon carbide or aluminum oxide are not commercially produced within Germany or the EU. Thus, there is a substantial dependence on manufacturers in the USA and Japan, some of whom are already bound by exclusive contracts with non-European users. Although there are now a few fiber pilot plants in operation in Germany in which prototype fibers of very high quality are produced, industrial series production remains pending though. This is mainly due to the high entrepreneurial risk associated with this and could be facilitated, for example, by start-up financing.

Overall, the high **cost of CMC products** blocks the 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 production, including production yield. Some CMC productions are not designed for large mass 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.

## Gemeinsam handeln

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, Fügetechnik 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) dar-

legen. 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 hochleistungsfähigen Werkstoffklasse zu überwinden.

Digitally controlled processes, networking of processes towards **digitally controlled process chains** or even cross-company interlocking have not yet been developed in the CMC value creation network. The participating SMEs lack the capacity to be able to win international competitions on their own in the long term. 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 construction methods. The simple transfer of procedures and findings from other material classes is largely not possible. For the development of new applications, the targeted development and production of demonstrators to prototypes would help to gain field experience, demonstrate performance, and thus increase awareness. This must be supplemented by recycling concepts, includ-

ing repair, and reprocessing of high-quality CMC components, which demonstrate the **sustainability** to be required (life cycle assessment and circular economy). Since CMC is a young class of materials taught in materials science courses, it is necessary to provide young scientists, engineers and technicians with adequate **training** that familiarizes them with CMC, teaches them the material-specific characteristics and the conviction to use CMC. In addition, it must be ensured that the dovetailing of science and industry continues to advance to intensify the **transfer of technology and knowledge** to companies and to overcome skepticism about this high-performance class of materials.

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

//

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

Philipp Goetz  
CEO CV-Technology GmbH  
Vorstand // Board of  
Ceramic Composites

## Acting together

## Gemeinsam handeln // Acting together

Aus den Erfahrungen und Einschätzungen des Mitgliederkreis des Ceramic Composites könnten folgende Aktivitäten zu einer Intensivierung der Nutzung der Potenziale von Faserverbundkeramikwerkstoffen 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 Industiekonsortium 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 an gestrebt 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 Faserverbundkeramik anwendungen, in dem Bauteile hergestellt und unter Realbedingungen erprobt werden. Träger dieses Demonstrationszentrums wären neben dem Bund oder einer bundeseigenen Einrichtung auch Industrieunternehmen. Somit würden direkt und indirekt Arbeitsplätze geschaffen und vor allem eine Spitzentechnologie am Standort Deutschland gesichert.

Based on the experiences and assessments of the Ceramic Composites membership, the following activities could lead to an intensification of the use of the potential of CMC:

- » Creation of the possibility of start-up financing for the commercialization of the internationally recognized know-how in the production of ceramic fibers available in the German research field. This could be done by a larger industrial consortium, which would receive a **facilitating framework through** German economic development.
- » Increased **research funding** with a focus on production technology, design and engineering, efficiency, and sustainability with the stipulation that large joint projects are aimed at in which several CMC manufacturers and users form a coalition with the aim of generating and sharing knowledge together.
- » The establishment of a **national demonstration center** for CMC applications, where components are manufactured and tested under real conditions. In addition to the federal government or a federally owned institution, this demonstration center would also be supported by industrial companies. This would create jobs directly and indirectly and, above all, secure cutting-edge technology in Germany.

Flechtanlage zum Flechten von CMC-Strukturen // Braiding machine for braiding CMC structures



*„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 profitieren

Wenn es gelingt die Werkstoffklasse der Faserverbundkeramiken sowohl in strategischen als auch in breiten Anwendungen zu etablieren, können CMC einen zentralen Beitrag zu den weltweiten gesellschaftlichen, ökologischen, ökonomischen und politischen Herausforderungen leisten. Die deutsche Industrie stellt damit den technologischen Anschluss zu wettbewerbenden 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 Marktpräsenz 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 der Luft- und Raumfahrt, 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 Faserverbundkeramiken 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*

If it is possible to establish the material class of CMC in both strategic and broad applications, CMC can make a key contribution to the global social, ecological, economic, and political challenges. German industry is thus re-establishing technological contact with competing countries (e.g. China, America, France, Japan). The members of the Ceramic Composites network are striving for global technology leadership for CMC. To this end, the SMEs, LSEs, and R&D institutions participating in the network want to expand their international market presence and develop into technology leaders. A strong and established SME industry is digitally networked and works in partnership with

LSEs and R&D institutions. By significantly reducing the manufacturing costs of CMC, the breakthrough of this class of materials is also achieved in new industries and markets. German core technologies, such as aerospace, energy technology and mechanical and plant engineering, can position themselves more future-proof and competitive with the help of CMC. The long-term safeguarding and expansion of jobs in Germany contributes to Europe's economic sovereignty. Germany can strengthen its global pioneering role in the field of the energy transition by using CMC to make key technologies of change more efficient.



# Ceramic Composites

# 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

Ceramic Composites  
Netzwerk des Composites United e. V.  
Am Technologiezentrum 5  
86159 Augsburg



**CU**  
COMPOSITES UNITED | CERAMIC  
COMPOSITES

[www.ceramic-composites.com](http://www.ceramic-composites.com)