

» Zukunftspotenziale von Hochleistungskeramiken «

Neue Werkstoffe können unbestritten wesentliche Antworten auf die Herausforderungen des 21. Jahrhundert geben. Sie helfen unsere Ressourcen zu schonen sowie nachhaltige und bezahlbare Energieversorgung, Mobilität und Medizinversorgung zu gewährleisten. Hochleistungskeramiken kommt dabei auf Grund ihrer besonderen strukturellen und funktionellen Eigenschaften vor allem in stark thermisch, mechanisch und chemisch beanspruchten Anwendungen eine Schlüsselrolle zu. Die aktuelle Expertenstudie der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V. (DKG), der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V. (DGM) und des Verbandes der Keramischen Industrie e. V. (VKI) zielt auf die weitere Intensivierung und Fokussierung der Forschungsanstrengungen auf dem Gebiet der Hochleistungskeramik in Deutschland. Zur Sicherung der internationalen Spitzenstellung der deutschen Hochleistungskeramik im globalen Wettbewerb werden entscheidende Handlungsfelder als Basis für weltweit führende Hochtechnologieprodukte und –Systeme am Industriestandort Deutschland aufgezeigt.

Einführung und Zielsetzung

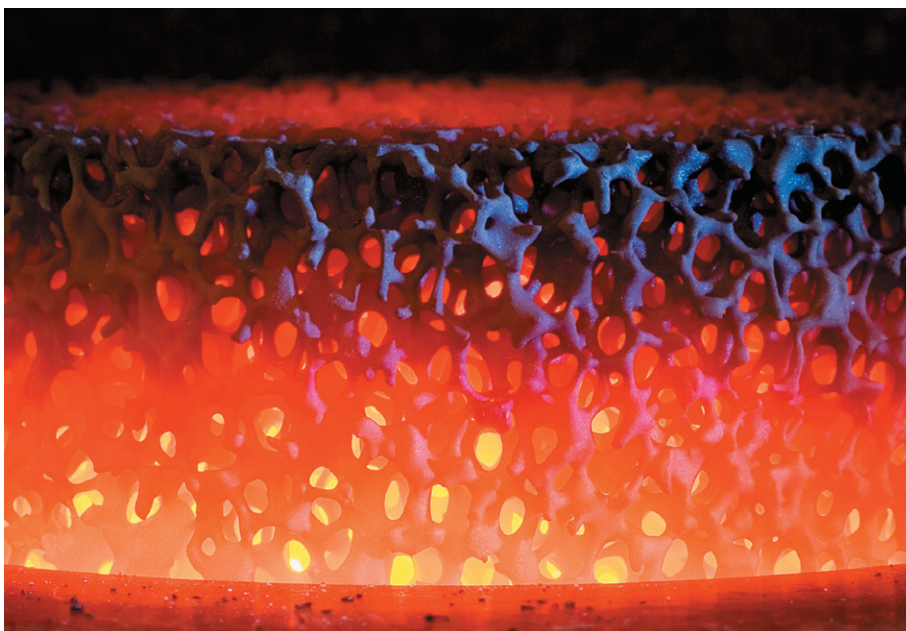
Neue Materialien und deren adäquate Herstellung, Anwendung und Nutzung spielen eine herausragende Rolle besonders für die Lösung der Energiefragen der Zukunft¹. Dies betrifft die Veränderung des Energie-Mix mit dem Schwerpunkt bei der Reduzierung der

CO₂-Emissionen und der Sicherung der Energieressourcen, aber ganz besonders effiziente und hinsichtlich der Kosten wettbewerbsfähige sog. low-carbon-Technologien zur Sicherung der nationalen und europäischen Positionen im globalen Wettbewerb um die industrielle Führerschaft in Wirtschaft

und Gesellschaft. Hochleistungskeramiken kommt hierbei eine Schlüsselrolle zu, da sie auf Grund ihrer besonderen strukturellen und funktionellen Eigenschaften vor allem in stark thermisch, mechanisch und chemisch beanspruchten Anwendungen schon heute essentiell für Funktionalität und komplexe Leistungsfähigkeit von technischen Systemen sorgen und dabei höchst anspruchsvollen Design-, Eigenschafts- und Zuverlässigkeitsanforderungen genügen müssen.

Bei Hochleistungskeramiken erstreckt sich der Innovationsprozess über eine lange und vielgliedrige Wirkungskette: Von der Synthese maßgeschneiderter Roh- und Ausgangsstoffe über multi-parametrisierte Herstellungstechnologien zur Gewährleistung der strukturellen und/oder funktionellen Materialparameter sowie der anwendungsbezogenen Wirtschaftlichkeits- und Zuverlässigkeitsaspekte bis hin zu den für die Applikation wesentlichen Fragen des Designs, der Systemintegration und Prüfung. Damit verbunden sind zunehmende Herausforderungen, aber auch Chancen für eine erfolgsbestimmende interdisziplinäre Zusammenarbeit sowohl zwischen den einzelnen Werkstoffdisziplinen, z.B. für komplexe Multimaterialansätze für die finale Systemintegration, als

Schaumkeramik / Quelle: Fraunhofer IKTS



auch zwischen den verschiedenen Anwendungsdisziplinen aus Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Chemie, Biologie, Medizin u.a.

Um die Entwicklungspotenziale der Hochleistungskeramik zeitnah zu erschließen und zum Nutzen von Gesellschaft und Industrie umzusetzen, ist eine zielgerichtete Vorgehensweise von hoher Bedeutung. Diese orientiert sich zum einen an den Zukunftseinschätzungen der Anwenderindustrien und zum anderen an den Technologievisionen der Forschung. Megatrend-Analysen² und Roadmaps auf internationaler³, europäischer⁴ und nationaler^{5,6} Ebene bilden hierfür ein sinnvolles Instrument und zeigen die Bedeutung dieser stark wissensbasierten Branche für alle im Zusammenhang mit den Megatrends identifizierten Wachstumsfelder bis 2020 und darüber hinaus.

Im Hinblick auf die rasanten Entwicklungen des technischen und wirtschaftlichen globalen Wettbewerbs und vor allem unter dem Aspekt der Energiewende hat der Koordinierungsausschuss im Gemeinschaftsausschuss Hochleistungskeramik beschlossen, die 2008 publizierte Strategieinitiative⁵ zu aktualisieren. In applikationsfeldbezogenen Workshops mit industriellen und akademischen Experten aus Entwicklung, Fertigung und vor allem Anwendung wurden basierend auf Impulsreferaten der Anwenderindustrie Handlungsfelder der Hochleistungskeramik unter den Gesichtspunkten Weiterentwicklung, Einsatz, Wettbewerbsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit diskutiert und im Hinblick auf das Marktpotenzial priorisiert. Zu diesen Handlungsfeldern sowie für spezielle Anwendungsfelder wurden nachfolgend vertiefende und ergänzende Expertengespräche geführt, um die Aussagen und Empfehlungen auf eine möglichst breite Wissensbasis zu stellen. Zusätzlich wurden relevante Roadmaps der letzten Jahre⁷ und aktuell laufende Arbeiten, wie z. B. im Bereich der Faserverbundmaterialien, mit einbezogen. Der gesamte Prozess wurde aus industrieller Sicht durch den



Keramisches Filtrationsmodul / Quelle: Fraunhofer IKTS

Verband der Keramischen Industrie VKI e. V. und dessen Technische Kommission begleitet und unterstützt.

Als Ergebnis dieses mehrstufigen Prozesses wurde eine Expertenstudie erarbeitet, die die aktualisierten Herausforderungen für die Grundlagen-, Vorlauf- sowie angewandte Forschung und Entwicklung für Hochleistungskeramiken mit Fokussierung auf die Ziele der Energiewende in folgenden Applikations- bzw. Technologiefeldern zusammenfasst:

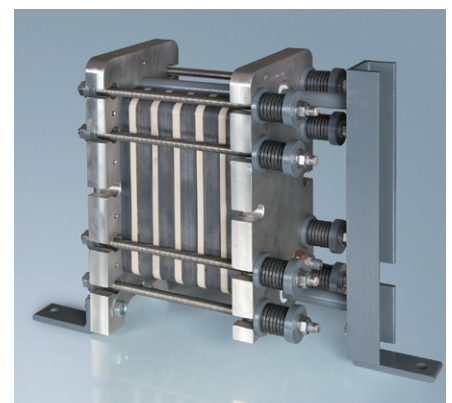
- Energie
- Maschinen- und Anlagenbau
- Mobilität
- Elektrotechnik/Optik
- Life Sciences
- Querschnittstechnologien.

Bedeutung von Hochleistungskeramiken

Hochleistungskeramiken profitieren von einem Wachstum in etablierten und neuen Anwendungsgebieten und besitzen eine her-

ausragende Bedeutung, da sie als Schlüsselkomponenten das Leistungsprofil von gesamten Systemen Wettbewerb entscheidend beeinflussen. Dies erfordert neben der reinen Materialkompetenz zunehmend tiefere spezifische Kenntnisse der jeweiligen Systemtechnologien der Anwendung, was die Rolle der Anwenderindustrie für die Ausrichtung der zukünftigen Entwicklung deut-

Keramischer Mikroreaktor / Quelle: 3M ESK





Gasturbinenfertigung / Quelle: Siemens

lich verstärkt und diese zunehmend zu eigenen Entwicklungen und teilweise sogar Fertigungen keramischer Systemelemente stimuliert.

Keramische Schlüsselemente sind in vielen Branchen seit Jahrzehnten etabliert und tragen dort auch über ihre Multiplikatorwirkung bzgl. des Verhältnisses von Komponentenwert zum Produktwert des Systems erheblich zum Geschäftswert längs der Wertschöpfungskette bei. In vielen Anwendungsbereichen leisten Komponenten aus Hochleistungskeramik bereits heute essenzielle überproportionale Beiträge zu technischen Lösungen, wobei sich der Wertschöpfungsmultiplikator vom Material bis zur Systemanwendung auf 2 bis 3 Größenordnungen und mehr belaufen kann. Nach einer aktuellen Studie⁹ belief sich das weltweite Marktvolumen für Hochleistungskeramik 2012 auf 46,5 Mrd. US\$ und wird entsprechend der Prognosen bis 2018

mit einer durchschnittlichen jährlichen Steigerungsrate von ca. 6 % auf 68 Mrd. US\$ wachsen. Deutschland nimmt in der Herstellung von Hochleistungskeramik die führende Position in Europa ein. Dies belegt auch die Statistik des Verbandes der Keramischen Industrie e.V. (VKI), die für Technische Keramik einen Exportanteil von rund 61 %¹⁰ ausweist.

Die Marktdurchdringung für Hochleistungskeramik wird einerseits durch die Keramik herstellende Industrie bestritten und andererseits durch Keramik verarbeitende Industrien. Aber auch „branchenfremde“ Anwenderunternehmen werden zunehmend aktiv, indem sie für den Eigenbedarf keramische Systemkomponenten eigenständig entwickeln und in Folge auch eigene Komponentenfertigungen einrichten, um sich Wettbewerbsvorteile zu sichern. Neben „klassischen“ monolithisch ausgeführten Hochleistungske-

ramiken besitzen insbesondere Composite und Werkstoffverbunde mit keramischem Anteil hohes Innovationspotential und können zu einer erheblichen Erweiterung der Anwendungsgebiete führen, da sie zu neuen, bislang nicht realisierbaren Eigenschaftskombinationen führen.

Auch staatliche und gesetzliche Regelungen sind wirksame Treiber für die Ausrichtung der Entwicklung von Hochleistungskeramik. Strengere Umwelt- und Gesetzesauflagen in Industrienationen und Schwellenländern insbesondere im Energie- und Umweltbereich erfordern nachhaltige Lösungen für höhere Wirkungsgrade bis hin zu end-of-life-Szenarien für Ressourcenschonung und Umweltentlastung. Dies löst bei Herstellern und Anwendern zusätzliche FuE-Anstrengungen aus, die von der angewandten interdisziplinären Forschung im besonderen Maße getragen werden müssen.

Ausgewählte Ergebnisse und Herausforderungen im Überblick

Für Anwendungen in der **Energietechnik** wurden Herausforderungen für die Entwicklung von Hochleistungskeramiken unter den Aspekten der konventionellen Energieerzeugung bzw. -Wandlung sowie der Erneuerbaren Energien und Energiespeicherung priorisiert.

Der Einsatz faserverstärkter Keramik im Heißgasbereich von Gasturbinen bietet das Potenzial, disruptive Verbesserungen der Effizienz der Energiewandlung durch die Erhöhung der Gaseintrittstemperatur und Reduzierung der Bauteilkühlung zu erreichen. Wenn es gelingt **Faserkeramiken** mit höherer Belastungsgrenze und -Toleranz, sowie erhöhter Lebensdauer zu vom Markt akzeptierten Preisen herzustellen und einzusetzen, könnte ein wesentlicher Beitrag zur Ressourcenschonung fossiler Energieträger und zum Klimaschutz geleistet werden.

Stationäre Stromspeicher sind eine der potenziell attraktivsten neuen Anwendungen für Hochleistungskeramiken und anorganische Funktionswerkstoffe. Im Fall von Batterien bestehen weit über 50% des Speichersystems aus Keramik. Um in die Nähe heutiger Stromgestehungskosten zu kommen (ca. 5 Cent/kWh), muss das Batteriesystem entsprechend anwendungsbezogener Abschätzungen kostengünstiger als 300 €/kWh wer-

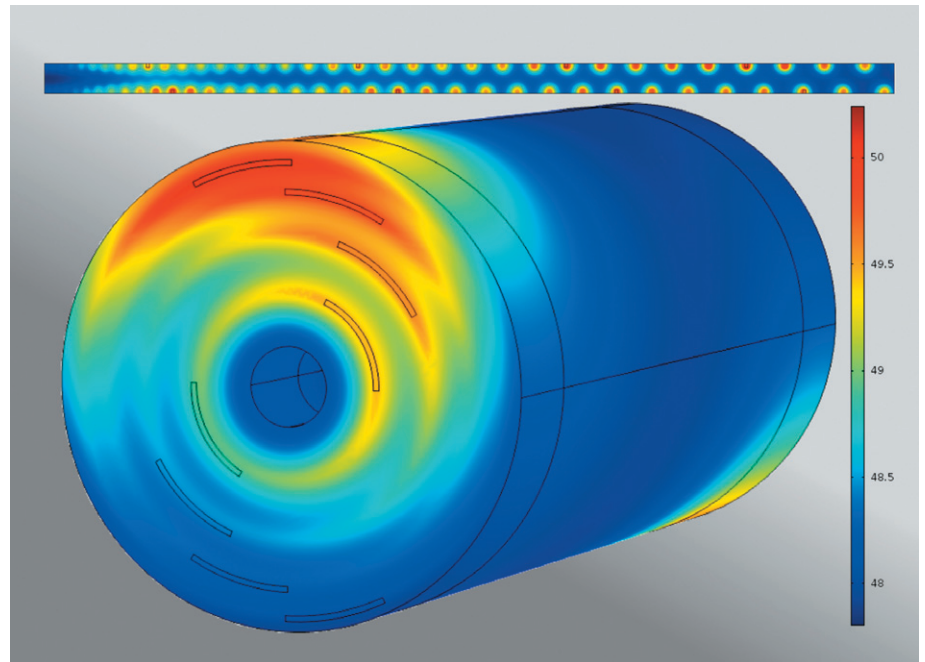
den. Der Weg dazu führt über die Entwicklung neuer Elektrolytgeometrien, hochproduktiver keramischer Fertigungsverfahren sowie fertigungsintegrierter keramischer Prüf- und Qualitätsprozesse.

Für den Ausbau erneuerbarer Energien vor allem der Windkraft ist die Suche nach neuartigen **Magnetwerkstoffen** insbesondere durch die in den letzten Jahren deutlich sichtbar gewordene Verknappung bzw. Verteuerung spezieller Rohstoffe auf diesem multidisziplinären Forschungsgebiet weiter zu intensivieren.

Das Anwendungsfeld **Chemie, Maschinen- und Anlagenbau** ist in besonderem Maße gekennzeichnet durch eine große Breite der spezifischen Anforderungen an die keramischen Materialeigenschaften, vor allem aber wachsende Herausforderungen hinsichtlich Bauteildesign, kostengünstiger adäquater Fertigungstechnologien sowie deren Systemeinbindung. Unabhängig von den jeweiligen konkreten Anwendungsbezügen wurden im Hinblick auf die zu erschließenden Zukunftspotenziale zwei Fokusfelder mit eher strukturellen bzw. funktionellen Beanspruchungen identifiziert und priorisiert.

Für **Strukturkeramiken** steigt neben neuen Materialentwicklungen zunehmend der Bedarf an spezifischen Prozessinnovationen zur Flexibilisierung der Produktion und hin zu komplexeren Bauteilen bei gleichzeitig wachsendem Kostendruck. Der Weiterentwicklung der Simulation dieser komplexen Systeme, der Einbindung der keramischen Werkstoffe in das System mit Fragestellungen wie keramikgerechtes Design, fügegerechtes Design, Fügetechnik und Ausgleich der unterschiedlichen Materialeigenschaften sowie der Reduzierung des Verschleißes im Bereich hochverschleißbeanspruchter Bauteile durch Beschichtungen und Verbunde gebührt vorrangige Priorität.

Keramische Materialien spielen zukünftig für die Stofftrennung in der Verfahrenstechnik als **Membranen und Adsorbentien** für Green-Tech-Anwendungen eine zunehmende Rolle, wobei eine stärkere Verlagerung in Richtung der Gastrennung und hierbei wiederum zu höheren Temperaturen vorausgesagt wird. Das eröffnet ein hohes Potenzial für selektive keramische Materialien, das bereits 2020



Modellierung von Batterien / Quelle: Fraunhofer IKTS

bei 1-2 Zehnerpotenzen über dem Umsatz der keramischen Membran von heute liegen wird. Die Kombination der Membrantrennung und Adsorption mit anderen Trenn- und Anreicherungsverfahren sowie die Kombination von Membrantrennung und Reaktion in einem Apparat als Membranreaktor sind nur einige der zukünftigen innovativen Herausforderungen.

Hochleistungskeramiken mit herausragenden funktionellen und strukturellen Eigenschaften sind seit vielen Jahren erfolgreich in großen Stückzahlen in der **Automobiltechnik** im Einsatz. Auf Grund der in den letzten Jahren verstärkten Initiativen zum Ausbau der Elektromobilität wurde dieser Fokus hier mit Ausnahme der Batterietechnologien ausgeblendet. Vielmehr richtet sich das Augenmerk der Experten im Kontext dieser Studie auf Zukunftspotenziale von Hochleistungskeramiken im Bereich der **konventionellen Antriebstechnik** in Straßenfahrzeugen (Verbrennungsmotoren, Leistungselektronik).

Auf Grund des zunehmenden Handlungsdruckes, der aus gestiegenen Emissionszielen von Verbrennungsmotoren für Kraftfahrzeuge resultiert, erscheint es angebracht, bereits früher entwickelte Lösungen zum Einsatz **keramischer Komponenten in Verbrennungs-**

motoren einer Neubewertung zu unterziehen. Diese Lösungskonzepte sollen mit dem heutigen Wissen über Materialien und Fertigungsprozesse neu bewertet werden, um in Anbetracht der heute gültigen Rahmenbedingungen die Vorteile aus technischer und vor allem wirtschaftlicher Sicht zu ermitteln.

Das Themenfeld **Thermomanagement im Antriebs- und Abgasstrang** fokussiert den Einsatz von keramischen oder hybrid-keramischen Beschichtungen mit speziellen thermischen Eigenschaften zur Isolation von Bauteilen, aber auch für einen verbesserten Wärmeabtransport.

Forderungen nach immer niedrigeren Schadstoffemissionen und Kraftstoffverbrauch führen zu einer zunehmenden Elektrifizierung der Kraft- und Nutzfahrzeuge. Oberhalb des Leistungsbereichs einiger weniger Kilowatt stoßen die polymer-basierten Leiterplatten-Lösungen an ihre thermischen Grenzen. Der Werkstoff Keramik kann hier seine guten Eigenschaften voll ausspielen. Spezielle Keramiken haben gute elektrische Isolator-Eigenschaften bei gleichzeitig hervorragender thermischer Leitfähigkeit und Beständigkeit. Diese Materialien sind wichtige Bausteine für den stetig wachsenden Markt der Leistungselektronik.



Elektromobilität / Quelle: Bosch

Das Themenfeld der **Batterietechnik** befasst sich mit dem Einsatz keramischer Komponenten im Inneren der Batterie. Explizit werden Ansätze zur Verlängerung der Lebensdauer von Elektrolyten und Elektroden sowie sicherheitsrelevante Aspekte durch werkstoffseitig neue Ansätze für Schutzschichten thematisiert.

Auch für die Anwendungsfelder **Elektrotechnik/Optik** und **Medizintechnik** werden aus Expertensicht wachsende Herausforderungen bei der Weiterentwicklung von Hochleistungskeramiken sowie spezifischer Prozesstechnologien einschließlich entsprechender prozessbegleitender Materialdiagnostik abgeleitet. **Funktionskeramiken** für passive elektronische Bauelemente, **Leuchtstoffkeramiken** und Keramiks substraten für die LED-Technik sowie **Oxid- und bioaktiven Keramiken** für Endo- und Dentalprothetik gebührt dabei vorrangige Priorität.

Neben den anwendungsfeldbezogenen Zukunftspotenzialen für Hochleistungskeramiken werden in der Studie auch ausgewählte **Querschnittsaspekte und -Technologien** betrachtet. Hier wurden vor allem Gesichtspunkte mit material- und anwendungsübergreifender Bedeutung berücksichtigt. Daneben wurden Werkstoff- bzw. Verfahrensansätze ausgewählt, die aus aktueller Sicht ein interessantes Innovations- bzw. Synergiepotenzial aufweisen oder die aktuell besonders in der Forschung sich abzeichnende Trends repräsentieren, auch wenn sie bisher noch nicht in großem Umfang industriell hergestellt bzw. appliziert werden. Dazu gehören Polymer- und Polymerabgeleitete Keramiken, Zelluläre keramische Werkstoffe, Generative Verfahren, Feldunterstützte Sintertechnologien, Aspekte zu Lebensdauer/Zuverlässigkeit sowie Material- und Prozessdiagnostik.

Autoren: B. Voigtsberger, W. Rossner, K. Joachim

Literatur:

1. European Commission (Hrsg.): Materials Roadmap Enabling Low Carbon Energy Technologies. Brüssel, 2011
2. KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (Hrsg.): Expect the Unexpected. Building business value in a changing world, 2012, URL <http://www.kpmg.com/global/en/issuesandinsights/articlespublications/pages/building-business-value.aspx> 12.2.2013
3. Freiman, Stephen (2007): Global roadmap for ceramics and glass technology. Hoboken, N.J, Chichester: Wiley; John Wiley, 2007
4. Cerame-Unie (Hrsg.) Paving the way to 2050. The ceramic industry roadmap . Brüssel, 2012. URL <http://www.cerameunie.eu/en/news/european-ceramic-industry-launches-2050-roadmap-paving-the-way-to-a-better-future> 23.1.2013
5. Rödel, J. Weissenberger-Eibl, M.; Kounga, A.; Koch, D.J.; Bierwisch, A.; Rossner, W.; Hoffmann, M.J.; Schneider, G.: Hochleistungskeramik 2025. Strategieinitiative für die Keramikforschung in Deutschland des Koordinierungsausschusses Hochleistungskeramik der DKG und DGK. Frankfurt, 2008. - ISBN 978-3-88355-364-1
6. DECHEMA, DBG, DGM, GDCh, VCI (Hrsg.), : Chemie als Innovationstreiber in der Materialforschung : Positionspapier. Frankfurt/M., 2012. - ISBN 978-3-89746-140-6
7. Roosen, A., Bartusch, R., Nebelung, M., Scharrer, K., Werr, U.: thesenpapier zur Vorbereitung einer strategischen Roadmap für die keramische Verfahrenstechnik DKG-Fachausschuss „Verfahrenstechnik“. 2007. cfi/Berichte der DKG 84, 3, S. D1-D6 (Teil 1), 84, 4, S. D1-D3 (Teil 2), 84, 5, S. D1-D11 (Teil3)
8. Briggs, J. (2012) Engineering Ceramics in Europe and the USA. Enceram UK
9. ADVANCED CERAMIC, A Global Strategic Business Report, Global Industry Analysts, Inc., October 2012
10. PRESSEINFORMATION Verband der Keramischen Industrie e. V., 16. Mai 2013

KONTAKT:

Deutsche Keramische Gesellschaft e.V. (DGK)

Am Grott 7, 51147 Köln
Tel.: +49 (0)2203 96648-0
Fax: +49 (0)2203 69301
info@dkg.de, www.dkg.de