

# KERAMISCHE

ZEITSCHRIFT

06|2019



Rohstoff Ton  
**Wo alles beginnt.**

Keramik 2.0  
**Kontrollierte Unordnung im  
Werkstoff** Seite 17

Arbeitsicherheit  
**Fortschritt in der Branche  
birgt Risiken** Seite 38

Im Westerwald  
**Ein Besuch bei der Stephan  
Schmidt KG** Seite 48

# digital · interaktiv · mobil

Exklusiv für Abonnenten kostenlos zur gedruckten Ausgabe – das E-Magazin.



**GRATIS**  
für  
Abonnenten!



## Schlagwortsuche

In Sekundenschnelle die komplette Ausgabe nach einem Schlagwort durchsuchen.



## Responsives Webdesign

Zugriff auf Ihr E-Magazin von Desktop, Laptop, Smartphone und Tablet.



## PDF-Downloads

Download von Artikeln aus dem umfangreichen Online-Archiv.



## Einfach und direkt ohne App

Zugriff ohne App-Store durch direkte Anbindung an die Website mit HTML5-Technologie.



## Interaktive Empfehlungen

Zusätzliches Spezialwissen durch verlinkte Quellenangaben der Fachartikel rund um die Heftthemen.



## Interaktives Inhaltsverzeichnis

Mit einem Klick zum gewünschten Beitrag.



## Interaktive Heftnews

Ergänzende Informationen zum Heft durch verlinkte Firmen- und Produktnews.

**KERAMISCHE**  
ZEITSCHRIFT

►► Ihr E-Magazin finden Sie unter: [www.emag.springerprofessional.de/keramische-zeitschrift](http://www.emag.springerprofessional.de/keramische-zeitschrift)

# Zurück zum Anfang

In dieser Ausgabe gehen wir zurück zum Ursprung jedes keramischen Werkstücks: dem Rohstoff Ton. Denn in der Tongrube beginnt der Weg eines hochqualitativen keramischen Bauteils und sein Schicksal liegt in den Händen des Maschinenführers, der mit dem nötigen Fingerspitzengefühl mit der Baggerschaufel einzelne Tonschichten abträgt. Das Geheimnis dabei sind die verschiedenen Farbtöne des Tons, die ein Indikator für seine Zusammensetzung sind und die ein Laie kaum unterscheiden kann.

Wir gehen aber auch in der Zeit zurück. Im September begibt die Deutsche Keramische Gesellschaft ihr 100-jähriges Gründungsjubiläum im Hotel Bellevue. Das Hotel ist Namensvetter des ehemaligen Hotels Bellevue, das Gastgeber der ersten Hauptversammlung im Jahr 1919 war, aber im Zweiten Weltkrieg zerstört wurde. Wer wissen will, was die Geschichte der DKG seit der Gründung bewegt hat, der fragt am besten Friedmar Kerbe. Er war maßgeblich an der Ausarbeitung der DKG-Chronik beteiligt, die von der Gesellschaft zu diesem Anlass herausgegeben wurde, und es gibt wohl kaum einen, der besser Bescheid weiß. Herr Kerbe ist übrigens auch langjähriger Korres-

pondent dieser Zeitschrift und seit neuestem Ehrenmitglied der DKG!

Neben vergangenen Dingen möchten wir sie auch auf etwas Neues in dieser Ausgabe aufmerksam machen. Ein wenig versteckt zwischen „Aus der Branche“ und dem „Keramik-Forum“ haben wir seit der letzten Ausgabe eine schöne neue Rubrik mit dem Titel Springer Professional News. Hier finden Sie die meistgekllickten Nachrichten, die auf Springer Professional – unserem Online-Nachrichtenportal – verfügbar sind. Dort halten wir sie über das Geschehen in der Keramikindustrie und den Materialwissenschaften auf dem Laufenden. Diese Nachrichten sind auch mit anderen wichtigen Informationen zum Thema verknüpft und mit noch mehr Hintergrundwissen zum Nachlesen in der passenden Forschungsliteratur. Als Printmagazin machen wir ihnen im Zuge der Digitalisierung Informationen auf allen Kanälen zugänglich. Die Keramische Zeitschrift zum Beispiel ist auch als E-Magazine erhältlich. Und wenn sie es kurz und bündig mögen, gibt es auch noch unseren monatlichen Keramik-Newsletter, den sie unter [www.springerprofessional.de/mynewsletters](http://www.springerprofessional.de/mynewsletters) beziehen können. |



**Leyla Buchholz**

Verantwortliche Redakteurin

[leyla.buchholz@springernature.com](mailto:leyla.buchholz@springernature.com)

## Zugang zum E-Magazine

Wenn sie bereits Abonnent der Keramischen Zeitschrift sind, können sie sich auf [www.springerprofessional.de/register](http://www.springerprofessional.de/register) mit ihrer Kundennummer registrieren und dort das Zeitschriftenarchiv aktivieren und das E-Magazine lesen.



© Frey

## Keramik-Forum

### Forschung für mehr Recycling

Zuse-Gemeinschaft

14

### Datenplattform für Forschungswissen

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

18

### Besser verträgliche Stents

Fraunhofer IKTS

15

### Risiko 3D-Druck

R+V Versicherung

19

### Die perfekte Solarzelle

KIT – Karlsruher Institut für Technologie

16

### Laser-Marking für dauerhafte Markierungen

Ferro GmbH

20

### Keramik 2.0

Technische Universität Darmstadt

17

### Robuster Feststoffakku

Forschungszentrum Jülich

22

## Rubriken

### Editorial

3

### Aus der Branche

6

### Springer Professional News

12

### Impressum

62

### Bezugsquellen

63

## Veranstaltungen

### Der Visionär und sein Werk

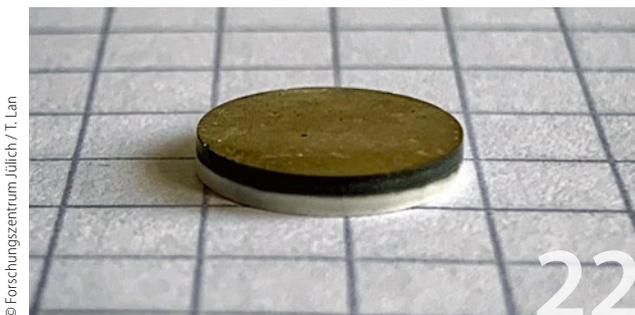
Friedmar Kerbe

23

### 100 Jahre DKG

Friedmar Kerbe, Detlev Nicklas

24



Interview

**Internationale Konferenz REFRA PRAGUE 2019** 26  
*Frantisek Tomšů, Štefan Palčo*

**Erster Erfahrungsbericht: Das Duale Studium in Höhr-Grenzhausen** 46  
*Mit Michelle Neuser (Hochschule Koblenz) und Daniel Tischer (Horn & Co. Group)*

**94. DKG-Jahrestagung & Symposium Hochleistungskeramik – Teil 2: Vortragssessions** 30  
*Friedmar Kerbe*

**Stephan Schmidt: „Wir sind Qualitätsführer, nicht Preisführer.“** 52  
*Mit Stephan Schmidt (Stephan Schmidt KG)*

Märkte

**Rohstoffe und Sekundärrohstoffe für Baustoffe** 36  
*Manfred Röhrs*

Reportage

**Ton aus dem Westerwald** 48  
*Leyla Buchholz*

**Die Glas- und Keramikbranche im Wandel** 38  
*Ruth Klüser, Ina Neitzner*

Anwendungen und Verfahren

**Charakterisierung additiv gefertigter keramischer Bauteile via FFF-Verfahren** 56  
*D. Nötzel, T. Hanemann, R. Eickhoff*

Titelbild Tongrube der Stephan Schmidt KG (© Frey)

■ Termine 2019 - 2020

November – Juni

**InPrint Munich 2019**

Internationale Fachmesse für Drucktechnologie zur Anwendung in der industriellen Fertigung  
München, 12. - 14. November 2019  
Messe München  
www.inprintmunich.com/de

**Herbstsymposium 2019**

Keramische Formgebung auf neuen Wegen:  
Hybridverfahren und Hybridkeramiken  
Erlangen, 3. - 4. Dezember 2019  
Stadthalle Erlangen  
www.fa3-symp2019.dkg.de

**DKG Jahrestagung**

95. DKG-Jahrestagung  
Jülich, 16. - 18. März 2020  
Forschungszentrum Jülich  
www.2020.dkg.de

**Freiberger-Feuerfest-Symposium**

Freiberg, 20. - 22. April 2020  
Tivoli Freiberg  
www.ffa2020.dkg.de

**Hannover Messe**

Hannover, 20. - 24. April 2020  
Messe Hannover  
www.hannovermesse.de

**Tagung Keramik+**

Bonn Meckenheim, 12. - 13. Mai 2020  
City-Hotel Bonn / Meckenheim  
www.wzr.cc

**Werkstoffe und Additive Fertigung**

Potsdam, 13. - 15. Mai 2020  
Kongresshotel Potsdam  
additive-fertigung-2020.dgm.de

**Rapid.Tech + FabCon 3.D**

Erfurt, 16. - 18. Juni 2020  
Messe Erfurt  
www.rapidtech-fabcon.com

■ Fraunhofer IKTS

## Keramische Technologien für hocheffiziente Power-to-X-Prozesse



© Fraunhofer IKTS

Wissenschaftler des Fraunhofer IKTS entwickeln keramische Technologiekonzepte zur Auslegung hocheffizienter Power-to-X-Prozesse

Die rasche Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen ist weltweit eine der dringendsten und herausforderndsten Aufgaben unserer Zeit. Neben der Strategie, CO<sub>2</sub>-Emissionen zu vermeiden, gibt es bereits Technologien, um unvermeidbares CO<sub>2</sub> in wertvolle Produkte umzuwandeln. Doch diese Power-to-X-Prozesse sind derzeit noch zu ineffizient und teuer. Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Keramische Technologien und Systeme in Dresden haben nun keramikbasierte Reaktoren entwickelt, mit denen aus CO<sub>2</sub> und Wasserdampf Grundstoffe für die chemische Industrie herstellbar sind: und das deutlich effizienter und klimaneutral.

Derzeit werden verschiedene Strategien zur Nutzung unvermeidbarer CO<sub>2</sub>-Emissionen verfolgt, um daraus beispielsweise chemische Grundstoffe (X) herzustellen. Um dies

möglichst klimaneutral zu realisieren, muss der dafür benötigte Strom (Power) aus erneuerbaren Energien bezogen werden: So wird klimaschädliches CO<sub>2</sub> zur Herstellung klimaneutraler Produkte genutzt. Solche Power-to-X-Prozesse sind aber bislang noch zu ineffizient, da sie aus vielen aufwändigen Einzelprozessen bestehen. Wissenschaftlern des Fraunhofer IKTS ist es nun gelungen, eine Laboranlage – bestehend aus keramikbasierten Reaktoren – zu entwickeln, in der eine CO<sub>2</sub>-Umwandlung in klimaneutrale Chemierohstoffe gelingt. In diesen Reaktoren werden die Einzelprozesse intelligent gekoppelt sowie Stoff- und Energieflüsse intensiviert. Dadurch steigt die Effizienz gegenüber bisherigen Power-to-X-Prozessen.

Unvermeidbare CO<sub>2</sub>-Emissionen fallen beispielsweise in großen Mengen in der Zement- und Kalkindustrie an. Um die-

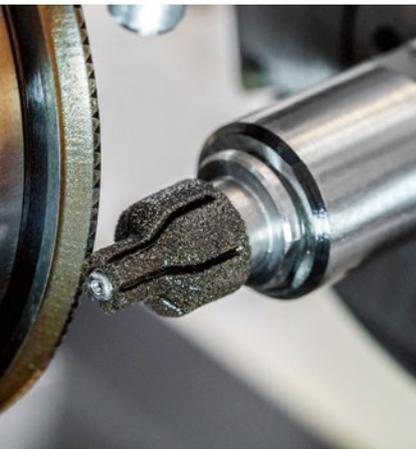
ses CO<sub>2</sub> nutzbar zu machen, werden am Fraunhofer IKTS vielfältige keramische Komponenten und Technologien eingesetzt. Beispielsweise sorgen keramische Filterkerzen für das Entstauben der Abgase. Erst nach einer solchen Grobreinigung kann das CO<sub>2</sub> durch keramische Membranen herausgefiltert werden. Das so gewonnene CO<sub>2</sub> wird in einem neu entwickelten, keramischen Hochtemperatur-Elektrolyse-Reaktor bei über 750 °C in Kohlenmonoxid umgewandelt. Gleichzeitig – und das ist das Besondere – wird im selben Reaktor aus Wasserdampf der Wasserstoff erzeugt – daher auch der Name Co-Elektrolyse. Kohlenmonoxid und Wasserstoff ergeben zusammen Synthesegas.

Die eingesetzten Reaktoren sind Elektrolysestacks (SOEC). Sie wurden am IKTS entwickelt und haben eine Langzeitstabilität von mehr als 4000 h bereits erfolgreich demonstriert. Im Vergleich zur etablierten alkalischen oder PEM-Elektrolyse benötigt die Hochtemperatur-Elektrolyse wesentlich weniger elektrische Energie und ermöglicht zudem die direkte Herstellung von Synthesegas. Um dies klimaneutral zu erzeugen, wird der Elektrolyse-Reaktor mit regenerativ erzeugtem Strom betrieben. In einem nachgeschalteten, ebenfalls am IKTS entwickelten Fischer-Tropsch-Reaktor erfolgt dann die Überführung des Synthesegases in chemische Grundstoffe – beispielsweise in langkettige Kohlenwasserstoffe. ◀

## ■ 3M

# Innovatives Schleifen durch 3D-Technologie

Mit der präzisionsstrukturierten keramischen CBN-Schleifscheibe ermöglicht 3M



© 3M

Im Vergleich zu nicht geschlitzten Scheiben erreichen die neuen CBN Schleifscheiben bis zu 40 % höhere Abtragsleistungen und geringere Schleifkräfte.

neue Designs für Schleifwerkzeuge. Die neuartige digitale Modellierung der Scheiben ermöglicht ein flexibles Design, denn Form und Struktur lassen sich damit an die jeweiligen Anforderungen anpassen. Die dreidimensional gedruckten Strukturen entstehen durch den adaptiven Aufbau von dünnen Schichten. Durch diese Art der Fertigung können Schleifwerkzeuge Schicht für Schicht nach einer vorgegebenen Konstruktion angefertigt werden. Der 3D-Druck ermöglicht Werkzeugdesigns, die mit den sonst üblichen mechanischen Verfahren nicht möglich sind. Einzigartige Formen und Strukturen, Schlitze in allen Variationen

und integrierte Kühlschmierbohrungen sind möglich.

Für den Kunden bietet sich damit die Möglichkeit, maßgeschneiderte Schleifwerkzeuge anfertigen zu lassen und so den Schleifprozess auf seine Bedürfnisse abzustimmen. So erreicht zum Beispiel eine geschlitzte präzisionsstrukturierte Scheibe gegenüber einer aufgeschlitzten Scheibe eine Leistungssteigerung von bis zu 40 Prozent. Für den gleichen Abtrag benötigt die Scheibe aus dem 3D-Drucker eine viel geringere Schleifkraft. Die CBN-Scheiben helfen dabei, höhere Abrichtintervalle zu erzielen. So verlängern sie die Standzeit und reduzieren die Zykluszeiten. Das wiederum minimiert die Stückkosten. ◀

## ■ Schunk Group

# Dr. von Hülsen neuer COO für Schunk Carbon Technology

Dr. Ulrich von Hülsen wurde am 1. September 2019 neuer Chief Operations Officer (COO) der Division Schunk Carbon Technology und gleichzeitig Mitglied der Unternehmensleitung der Schunk Group. Mit dem Eintritt Dr. von Hülsen in die Schunk Group besteht die Unternehmensleitung der Schunk Group somit aus dem CEO Dr. Arno Roth und den COOs Peter R. Manolopoulos und Dr. Ulrich von Hülsen. Dr. Ulrich von Hülsen wurde 1967 in Neumünster ge-

boren. Er hat in Freiburg und Göttingen Physik und in Hagen Betriebswirtschaftslehre studiert und in Physik promoviert. Von 1998 bis 2003 war er in verschiedenen Funktionen für die Heidelberger Druckmaschinen AG tätig. Zwischen 2003 und 2015 hatte Dr. von Hülsen verschiedene leitende Funktionen in der Avanco-Gruppe inne, einem Hersteller technischer Produkte aus Aluminium und Faserverbundwerkstoffen. Von 2015 bis 2019 war er als Geschäftsführer für Pfeiffer Vacu-

um, einem weltweit tätigen Hersteller von Vakuumpumpen, tätig und dort zuletzt Mitglied des Vorstandes. „Dr. Ulrich von Hülsen ist ein ausgewiesener Experte für die Produktion und den Vertrieb von industriellen Hightech-Produkten“, sagt Dr. Arno Roth. „Wir freuen uns, dass wir Dr. von Hülsen für die Division Schunk Carbon Technology gewinnen konnten und sind überzeugt, dass sich unser Carbon-Geschäft unter seiner Leitung weiterhin erfolgreich entwickeln wird.“ ◀

## ■ Termine 2020

### Juni – November

#### Laser Precision Microfabrication Symposium

21<sup>st</sup> International Symposium on Laser Precision Microfabrication  
Dresden, 23. - 26. Juni 2020  
Deutsches Hygiene-Museum Dresden  
[lpm2020.inventum.de](http://lpm2020.inventum.de)

#### ICR-Int. Feuerfestkolloquium

53. Internationales Feuerfest-Kolloquium  
Aachen, 16. - 17. September 2020  
Eurogress Aachen  
[ecref.eu](http://ecref.eu)

#### glasstec

Düsseldorf, 20. - 23. Oktober 2020  
Messe Düsseldorf  
[www.glasstec.de](http://www.glasstec.de)

#### Powtech

Nürnberg, 29. - 1. Oktober 2020  
Messe Nürnberg  
[www.powtech.de](http://www.powtech.de)

#### Symposium Pulvermetallurgie

Hagen, November 2020  
Stadthalle Hagen  
[www.pulvermetallurgie.com](http://www.pulvermetallurgie.com)

#### Composites Europe

Stuttgart, 10. - 12. November 2020  
Messe Stuttgart  
[www.composites-europe.com](http://www.composites-europe.com)

#### formnext

Frankfurt, 10. - 13. November 2020  
Messe Frankfurt  
[formnext.mesago.com](http://formnext.mesago.com)

■ Schaeffler

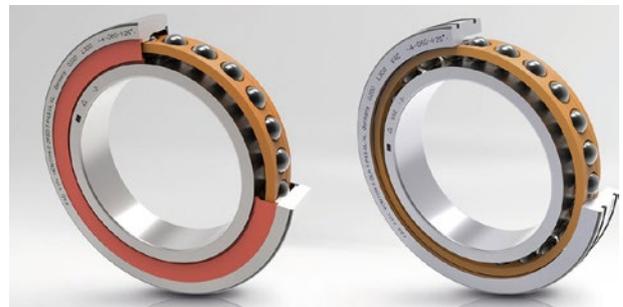
## Hochleistungswerkstoff Vacrodur steigert Gebrauchsdauer von Hauptspindeln

Neue Spindellager von Schaeffler sind aus dem Hochleistungswerkstoff Vacrodur gefertigt. Dieser Hochleistungsstahl verfügt über eine Vielzahl an herausragenden Eigenschaften, die speziell für die Anwendung als Spindellager vorteilhaft sind und die Gebrauchsdauer von Hauptspindeln deutlich erhöhen können.

Die Leistungsfähigkeit und Produktivität von Werkzeugmaschinen wird in besonderem Maße von der Hauptspindel vorgegeben. Ihre Drehzahleignung, Steifigkeit und Robustheit gegenüber betrieblichen Einflüssen wiederum bestimmen die Spindellager. Wichtige Entwicklungsziele der neuen Spindellager waren eine besonders reibungsoptimierte Innenkonstruktion sowie eine große Toleranz gegenüber schnell wechselnden thermischen Be-

triebszuständen, wie sie in Motorspindeln häufig auftreten. Die optimierte Konstruktion bewirkt einen deutlich geringeren Anstieg der Lagervorspannung durch Einflüsse wie beispielsweise die Überdeckung von Bohrung und Lager, hohe Drehzahlen und große Temperaturgradienten zwischen Welle und Gehäuse.

Angeboten wird die neue Baureihe in den drei Varianten M, HCM und VCM. Die Kugeln und Ringe der Spindellager der M-Variante sind aus dem bewährten Wälzgerstahl 100Cr6 gefertigt. Die HCM-Variante ist mit Kugeln aus Keramik bestückt, während die Ringe aus Wälzgerstahl 100Cr6 bestehen. Die Kugeln der VCM-Variante sind ebenfalls aus Keramik, die Lagerringe jedoch aus dem neu entwickelten Hochleistungswerkstoff Vacro-



© Schaeffler

Die Baureihe ermöglicht, die Drehzahleignung und Robustheit der Spindellager den Bedürfnissen von Kunden anzupassen. Links: Spindellager der HCM-Variante sind mit Kugeln aus Keramik bestückt, die Lagerringe bestehen aus Wälzgerstahl 100Cr6. Rechts: Die Lagerringe der VCM-Variante sind aus dem neu entwickelten Hochleistungswerkstoff Vacrodur gefertigt.

dur gefertigt. Im Bereich der Dauerfestigkeit erträgt Vacrodur bis zu 35 Prozent höhere Pressungen als der bewährte Wälzgerstahl 100Cr6. In Versuchen konnte mit guten Schmierverhältnissen eine 2,4-fach höhere dynamische Tragfähigkeit im Vergleich zum

Standardwälzgerstahl 100Cr6 nachgewiesen werden. Dies entspricht einer 13-fachen Verlängerung der nominellen Lagerlebensdauer. Unter Mangel-schmierungsbedingungen ergibt sich sogar eine 25-fache Verlängerung der Gebrauchsdauer. ◀

■ Jumo

## Große Leistung im kompakten Gehäuse



© Jumo

Der Multifunktions-Vierdrahtmessumformer verbindet einen großen Funktionsumfang mit einer komfortablen Konfiguration mittels eines PC-Setup-Programms.

Der Multifunktions-Vierdrahtmessumformer (dTRANS T06 Junior) im Tragschienengehäuse ist das Einstiegsmodell in die Welt der Jumo-Vierdrahtmessumformer. Mit der Möglichkeit für anwendungsspezifische Linearisierungen ist er interessant für verschiedenste Anwendungen im Anlagenbau. Mit einer Breite von 17,5 mm spart er darüber hinaus Platz beim Einbau in einen Schaltschrank und ermöglicht so die einfache

Erweiterung einer bestehenden Anlage.

Trotz des kompakten Aufbaus verfügt das Gerät über einen großen Funktionsumfang. An den Messeingang können Widerstandsthermometer, bis zu 16 Thermoelementtypen, Potenziometer oder Widerstandsferngeber angeschlossen werden. Die hohe Messgenauigkeit sorgt in Kombination mit der galvanischen Trennung und der Fehlerbruchüberwachung auch

unter kritischen Umgebungsbedingungen für hohe Prozesssicherheit. Dazu kommen Zusatzfunktionen wie ein Schleppzeiger und ein Betriebsstundenzähler, die eine schnelle Inbetriebnahme und eine planbare Wartung ermöglichen. Der Messumformer kann über die frontseitige Micro-USB-Buchse mittels Konfigurationssoftware und Notebook ohne zusätzliche Hilfsspannung eingestellt werden. ◀

## Freiberger Startup entwickelt neuen Industrie-Werkstoff

„SelfSeal“ heißt eine neue Start-up-Idee an der TU Bergakademie Freiberg. Dabei handelt es sich um einen Dichtstoff, der die jährlichen Wartungs- und Reparaturkosten von Hochtemperaturanlagen deutlich reduzieren kann. Die zum Patent angemeldete Idee wird mit einem Exist-Gründerstipendium gefördert.

Gerade bei Hochtemperaturanlagen, wie beispielsweise Glasschmelzöfen, lassen sich aufgrund der hohen Temperaturen oft Abnutzungen an den Fugen erkennen. Das führt zu Wärme- und Abgasverlusten. Konventionelle Lösungen zur Abdichtung der Fugen korrodieren relativ schnell und müssen daher ständig erneuert werden.

Die am Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik der Technischen Universität Bergakademie Freiberg entwickelte Fugenmasse „SelfSeal“ bietet Anlagenbetreibern künftig gleich mehrere Vorteile. Das Material besteht aus Schaumglas und dichtet die Fugen mit weniger Aufwand zuverlässig



Industrierversuch an einem Glasschmelzofen

© IKGB / TU Bergakademie Freiberg

und langlebig ab. Damit lassen sich zum einen Wartungs- und Reparaturkosten von Hochtemperaturanlagen deutlich reduzieren und zum anderen Risiken für Produktionsausfälle senken.

Das zum Patent angemeldete Produkt soll in einem Start-up weiterentwickelt werden. Zum Gründerteam gehören

Dr. Marc Lüpfer (Ingenieur), Rebecca Lehmann (Ingenieurin) und Anna Werner (Betriebswirtin). Bis Ende 2019 will das Team um Projektleiter Dr. Marc Lüpfer den Hochtemperaturdichtstoff fertig entwickeln und anschließend auf den Markt bringen. Für den Weg von der Hochschule zum eigenen Startup erhält das

Gründerteam mit Unterstützung durch Saxeed seit Mai 2019 eine Förderung über das Programm Exist-Gründerstipendium des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. In diesem Rahmen werden Stipendien für die drei Gründer für eine Dauer von 12 Monaten sowie Sachmittel in Höhe von 35.000 Euro gefördert. ◀

## Die Zukunft des Leichtbaus

Am 12. September 2019 fand in der Filderhalle in Leinfelden-Echterdingen die konstituierende Mitgliederversammlung des neu gegründeten Composites United e. V. (CUeV) statt. Am Vortag war die lang erwartete Eintragung des CUeV beim Registergericht Berlin-Charlottenburg erfolgt. Sie tritt

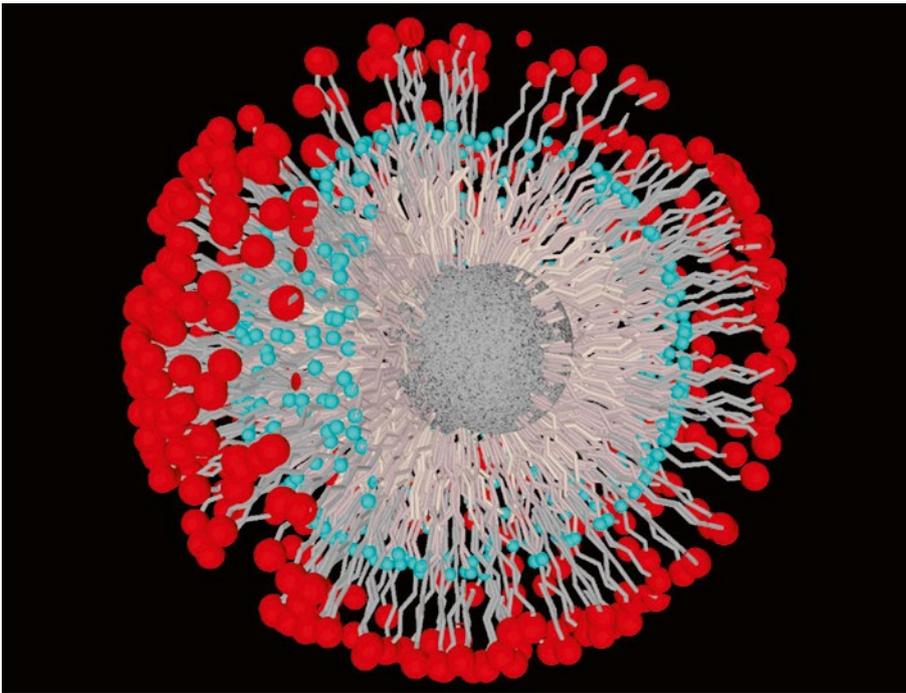
rückwirkend zum 1. Januar 2019 in Kraft. Die rund 60 anwesenden Stimmberechtigten nahmen alle Vorschläge zu Struktur und Aufstellung des nun etablierten Vereins einstimmig an - ein gelungener Start für das neue Schwergewicht der Leichtbau-Welt. In insgesamt drei gemeinsamen

Sitzungen hatten die bisherigen Vorstände und Aufsichtsräte der früheren Vereine Carbon Composites e.V. und CFK Valley e.V. die Gründungsversammlung des Composites United e.V. vorbereitet. Ein Präsidium leitet den CUeV für zunächst drei Jahre, dann wird die Vereinsführung satzungs-

gemäß von den Mitgliedern gewählt. Dem achtköpfigen Führungsgremium gehören an: Prof. Dr. Dieter Meiners und Prof. Dr. Hubert Jäger als Präsidiumssprecher sowie Dr. Lars Herbeck, Prof. Dr. Axel Herrmann, Prof. Dr. Klaus Drechsler, Holger Bär, Dr. Jens Walla und Ralph Hufschmied. ◀

■ Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

## Nanopartikel mit neuartigen elektronischen Eigenschaften



© FAU/Tobias Luchs

Dreidimensionale Graphik eines zweifach funktionalisierten  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Nanopartikels

Forscher des Lehrstuhls für Organische Chemie II der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) haben ein Konzept zur Steuerung von Aluminiumoxid-Nanopartikeln entwickelt. Die optischen und elektronischen Eigenschaften von Aluminiumoxid-Nanopartikeln, die eigentlich elektro-

nisch inert und optisch inaktiv sind, können gesteuert werden. Das haben Forscher des Lehrstuhls für Organische Chemie II der FAU herausgefunden und ein Konzept für das Management dieser zweifach funktionalisierten Nanopartikel entwickelt. Ihre Ergebnisse haben sie im renommierten Fachjour-

nal „Chemistry – A European Journal“ veröffentlicht (DOI: 10.1002/chem.201901052).

Die Forscher brachten dafür ein Phosphonsäure-Derivat auf die Oxid-Oberfläche der Nanopartikel auf. Dies führte dazu, dass die ansonsten bei Tageslicht nahezu transparenten und farblosen Partikel eine starke

türkisfarbene Fluoreszenz aufwiesen. Im nächsten Schritt folgte ein Amphiphil – eine Substanz, die sowohl wasser- als auch fettlöslich ist – auf der Oberfläche, die das optische und elektronische Verhalten der bislang einfach funktionalisierten Nanopartikel nun grundlegend veränderte: Werden solch funktionalisierte Nanopartikel im Wellenlängenbereich angeregt, findet ein Elektronentransfer zur elektronenarmen Komponente statt. Die türkisfarbene Fluoreszenzfarbe der elektronenreichen Nanopartikel wird reduziert und – in Abhängigkeit von der Konzentration des elektronenarmen Amphiphils – wird schrittweise eine orangefarbene Fluoreszenzfarbe aufgebaut. Unter Tageslicht weisen die Partikel schließlich eine rosa Farbe auf.

Prof. Dr. Andreas Hirsch, Inhaber des Lehrstuhls für Organische Chemie II, hat dieses Konzept im Rahmen seiner Grundlagenforschung zusammen mit der wissenschaftlichen Mitarbeiterin Lisa Stiegler entwickelt. ◀

■ Arno Witgert

## Witgert nimmt neue Rohstoffhalle in Betrieb

Nach 6-monatiger Bauzeit konnte der Tonbergbaubetrieb Witgert Ende Juli eine neue Rohstoffhalle fertigstellen. Mit 18 neuen Boxen kann die Flexibilität zur Produktion kundenspezifischer Tonmischungen ausgebaut werden. Außerdem kann der Einsatz von

Sekundärrohstoffen forciert werden, der häufig an die Abnahme an der Anfallstelle just-in-time gekoppelt ist und somit eine Bevorratung notwendig macht. Die Lagerhalle wurde in massiver Beton-Stahlbau-Konstruktion gefertigt und ist die größte Einzel-

investition in der nahezu 200-jährigen Firmengeschichte. Seit 1820 fördert das Unternehmen Arno Witgert Tone und ist somit der älteste Tonbergbaubetrieb im Westertal. In den letzten Jahrzehnten wurde ein Schwerpunkt auf die Aufbereitung der ge-

förderten Tone zu keramischen Fertigmassen gelegt. Heute liefert Witgert jährlich etwa 150.000 t keramische Rohstoffe in alle Welt. Zwar stellt der deutsche Markt noch den größten Anteil dar, die Exportrate hat inzwischen jedoch 50 % erreicht. ◀

## ■ Eisenmann SE

# Eisenmann forciert strategische Neuausrichtung im Insolvenzverfahren

Mit dem Ziel, das im März 2019 gestartete Programm zur Restrukturierung und strategischen Neuausrichtung der Eisenmann-Gruppe zu beschleunigen, hat die Eisenmann SE beim Amtsgericht Stuttgart einen Antrag auf Eröffnung eines Insolvenzverfahrens gestellt. Anträge wurden auch gestellt bei der Eisenmann Anlagenbau GmbH & Co. KG, der Eisenmann Lactec GmbH und der ENisco GmbH & Co. KG. Die Mitarbeiter des Unternehmens wurden heute zeitgleich informiert. „Wir fokussieren uns auf unser Kerngeschäft und wollen mit der

Sanierung im Rahmen eines Insolvenzverfahrens die strategische Neuausrichtung der Eisenmann Gruppe vorantreiben, um so schnell wie möglich zu einem profitablen Geschäft zurückzukehren. Wir wollen diese Chance auf einen Neustart konsequent nutzen und können dabei auf ein grundsätzlich solides Geschäftsmodell aufbauen. Marktstellung, Reputation, Innovationskraft sowie motivierte und gut ausgebildete Mitarbeiter sind wesentliche Komponenten für die langfristige Perspektive unseres Unternehmens“, betonte Dr. Michael Keppel, Chief Re-

structuring Officer der Eisenmann SE. Der Verwaltungsrat, die Familie Eisenmann und die Kreditgeber unterstützen den jetzt eingeschlagenen Weg, so Keppel weiter.

Eigentümer und Management der Eisenmann Gruppe hatten im März 2019 die Restrukturierung und strategische Neuausrichtung des Unternehmens eingeleitet. Die Akquisition und Abwicklung diverser Großprojekte hatten in 2018 zu einem hohen Jahresverlust geführt. „Wir mussten hier schnell und konsequent handeln. Gleichzeitig wollten wir aber auch die strategischen und

strukturellen Grundlagen für unsere Wettbewerbsfähigkeit schaffen“, betonte Keppel. „Wir sind davon überzeugt, dass wir die zunehmenden Risiken und Kapitalanforderungen in unserem Anlagengeschäft im Verbund mit einem industriellen Partner besser schultern und unser volles Potential schneller ausschöpfen können. Deshalb suchen wir für unser Geschäft mit Lackieranlagen (Paint & Assembly, PA) und Applikationssystemen (Application Technology, AT) einen strategischen Partner. Die ersten Interessenten haben sich auch schon gemeldet“, so Keppel. ◀

## ■ Manfred Röhrs

# Herzlichen Glückwunsch!



Dr.-Ing. Lothar Schyia

Dr. Lothar Schyia beging am 1. August die Vollendung seines 80. Lebensjahres. Über sein langes Berufsleben von mehr als 45 Jahren vom Ziegelerlehrling im Klinkerwerk Großräschen bis zur Promotion zum Dr.-Ing. an der TU Bergakademie Freiberg ist zu anderen Jubiläen bereits berichtet worden. Das gilt auch für seine Tätigkeit als Geschäftsführer des Fachverbandes Ziegelindustrie Nordost e.V. des Bundesverbandes der Deutschen Ziegelindustrie e.V. seit Gründung im Juni 1990 bis zur Schließung und direkten Eingliederung in den Bundesverband ab 2002, während alle anderen Fachverbände bis heute bestehen.

Der Jubilar ist nunmehr seit seinem beruflichen Ruhestand intensiv mit der Erforschung des Lebens und Wirkens des Ringofenerfinders und Nestors der Ziegelindustrie Friedrich Eduard Hoffmann (1818–1900) und der ehrenvollen Bewahrung seines Andenkens befasst. Ausdruck dessen ist der bereits 1996 gegründete Friedrich-Hoffmann-Förderverein. Gleichzeitig war Dr. Schyia der Initiator der Hoffmann-Ausstellungen in den Ziegelparks Zehdenick und Gröningen, sowie der Namensweihen der Friedrich-Hoffmann-Oberschule Großräschen und der Grundschule Gröningen, dem Geburtsort Hoffmanns. Dazu

kommen die aktiven Mitgliedschaften in den Fördervereinen der Ziegelmuseen von Hundisburg, Altgietzen und Zehdenick.

Von der Schriftstellerin Christa Wolf stammt der Ausspruch „das Alter ist die Zeit der Verluste“. Das trifft nicht zu für die seit nunmehr 20 Jahren jährlich stattfindenden Zieglertreffs mit immerhin circa 80 Teilnehmern, die nach wie vor vom Jubilar organisiert werden, was selbstverständlich vom „harten Kern“ der „reifen Ziegler“ auch in den Folgejahren erwartet wird. Dazu und in seinem weiteren Leben beste Wünsche für gute Gesundheit und die ihm eigene Kontaktfreude. ◀

# Trends aufspüren

Eines steht fest: Die Anforderungen an Produkte aller Art steigen ständig. Um Entwicklungszeiten zu verkürzen und die Wettbewerbsfähigkeit zu stärken, muss in den Unternehmen die Wissensbasis laufend erweitert werden. Einen wichtigen Beitrag zur Informationsbeschaffung leistet hier das Wissensportal SPRINGER PROFESSIONAL. Unsere Rubrik MEISTGEKLICKT AUF SPRINGER PROFESSIONAL hilft beim Finden von Informationen über Trends in der Welt der Keramik. Lesen Sie hier die gekürzten Fassungen der monatlich am meisten geklickten Online-Beiträge aus Branchen, in denen auch die Keramik eine wichtige Rolle spielt.

## Was ist Springer Professional?

Springer Professional ist eine digitale Fachbibliothek. Abonnenten dieses Wissensportals haben Volltextzugriff auf mehr als 50.000 Fachbücher und über 300 Fachzeitschriften. Diese Inhalte sind ansonsten nicht frei im Netz verfügbar. Inhaltlich abgedeckt sind die folgenden Fachgebiete:



- ▶ **Automobil + Motoren**
- ▶ **Bauwesen + Immobilien**
- ▶ **Business IT + Informatik**
- ▶ **Elektrotechnik + Elektronik**
- ▶ **Energie + Umwelt**
- ▶ **Finance + Banking**
- ▶ **Management + Führung**
- ▶ **Marketing + Vertrieb**
- ▶ **Maschinenbau + Werkstoffe**

Weitere Infos: [www.springerprofessional.de](http://www.springerprofessional.de)

## Produktion mittels 3D-Druck wird Standard



© Jell GmbH & Co. KG

Produktion mittels 3D-Druck wird Standard

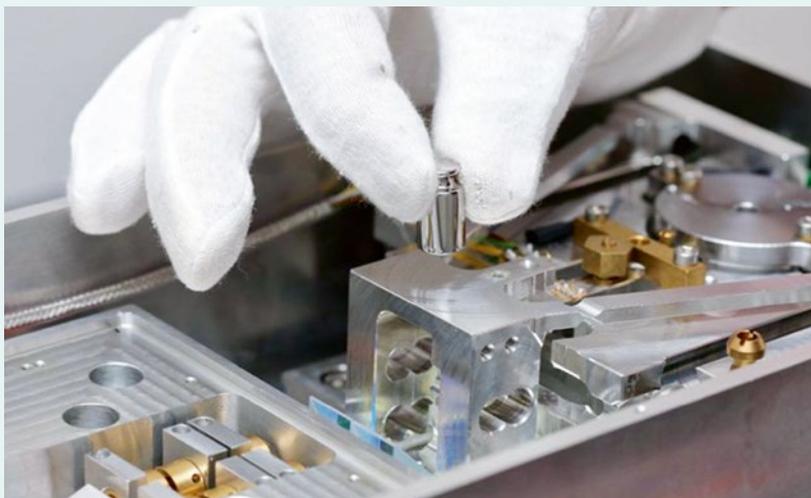
Die Technologien der Additiven Fertigung entfalten in den Unternehmen ihr disruptives Potenzial. Laut einer aktuellen Studie wird der 3D-Druck nicht als Bedrohung bestehender, sondern als Chance für neue Geschäftsmodelle gesehen. Die Verfahren des Additive Manufacturing (AM) sind in Deutschland als Hilfsmittel bei der Produktentwicklung im Alltag angekommen. Nach einer Mitte Juli von VDI und RWTH Aachen publizierten Studie mit dem Titel „Das Potenzial der additiven Fertigung: Digitale Technologien im Unternehmenskontext“ setzen rund 72 Prozent der 560 Umfrageteilnehmer AM für die Fertigung von Prototypen und Pilotserien ein. Weitere 16 Prozent prognostizieren

eine Anwendung innerhalb von zwei Jahren. Über ein Drittel der Befragten arbeitet bei AM-Projekten mit externen Dienstleistern zusammen. Die Hälfte kann sich vorstellen, externe Unterstützung in den nächsten zwei Jahren zu beauftragen. Bereits knapp 13 Prozent der Befragten nutzen AM in ihrem Unternehmen für die Produktion kompletter Endprodukte.

Lesen Sie den ausführlichen Beitrag unter [www.springerprofessional.de/link/16972380](http://www.springerprofessional.de/link/16972380)

## Neues SI-Einheitensystem jetzt gültig

Am 20. Mai, dem Weltmetrologietag, änderte sich das weltweit gültige Einheitensystem grundlegend. Jetzt sind Naturkonstanten dafür verantwortlich, was unter einem Kilogramm, einem Ampere, einem Kelvin oder einem Mol zu verstehen ist. Nach jahrelanger Forschung der großen Metrologieinstitute und im Besonderen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) hatte sich die Weltgemeinschaft auf eine Revision des Einheitensystems verständigt – eine Revision, die mit dem Weltmetrologietag 2019 in Kraft getreten ist. Seitdem sind die gewohnten Definitionen der SI-Einheiten Geschichte. Vorbei die Zeiten, in denen ein kleiner Metallzylinder in einem Safe des Internationalen Büros für Maße und Gewichte (BIPM) in Sèvres (Paris) das Kilogramm für die ganze Welt darstellte.



© TU Ilmenau

Die Planck-Waage der TU Ilmenau ist die weltweit erste industrietaugliche Waage für das „neue“ Kilogramm. Pünktlich zum Inkrafttreten der neuen SI-Einheit konnte sie nochmals verbessert werden.

Lesen Sie den ausführlichen Beitrag unter [www.springerprofessional.de/link/16737950](http://www.springerprofessional.de/link/16737950)

## Thüringer Forschungspreis für keramische Batterie



© Fraunhofer IKTS

**cerenergy – Umweltfreundliche und kostengünstige Natrium-Batterie zur stationären Energiespeicherung.**

es gelungen eine keramische Batterie zu entwickeln, die vollständig aus unkritischen, einheimischen Rohstoffen wie Kochsalz, Aluminiumoxid und Nickel hergestellt wird. Das macht sie kostengünstig und wartungsarm. Zudem hat die Natrium-Nickel-Chlorid-Batterie

Regenerative Energiequellen gewinnen im Kontext der Energiewende stark an Bedeutung. Damit auch dann Strom fließt, wenn das Windrad stillsteht und die Sonne nicht scheint, muss Energie zuverlässig gespeichert werden. Ein Forscherteam des Fraunhofer-Instituts für Keramische Technologien und Systeme IKTS hat dafür eine preiswerte und umweltfreundliche keramische Batterie entwickelt, die mit dem diesjährigen Thüringer Forschungspreis in der Kategorie »Angewandte Forschung« ausgezeichnet wurde. Den Fraunhofer-Forschern ist

einen hohen systemischen Wirkungsgrad, ist langlebig und so sicher, dass sie ohne Bedenken in Wohngebäuden aufgestellt werden kann.

Lesen Sie den ausführlichen Beitrag unter [www.springerprofessional.de/link/16664236](http://www.springerprofessional.de/link/16664236)

### Weitere meistgeklickte Beiträge

↓ Batterieproduktion in Rekordgeschwindigkeit  
[www.springerprofessional.de/link/17049206](http://www.springerprofessional.de/link/17049206)

↓ Neuer Rekord für flexible Dünnschicht-Solarzellen  
[www.springerprofessional.de/news/17069936](http://www.springerprofessional.de/news/17069936)

↓ Automatisierung und Beschäftigungsentwicklung  
[www.springerprofessional.de/link/16968816](http://www.springerprofessional.de/link/16968816)

↓ Logistik beflügelt Markt für Serviceroboter  
[www.springerprofessional.de/link/17225702](http://www.springerprofessional.de/link/17225702)

Lesen Sie mehr auf:  
[www.springerprofessional.de](http://www.springerprofessional.de)

# Forschung für mehr Recycling

Mehr Recycling ist nicht nur bei Kunststoffen, sondern auch bei vielen anderen Produkten und Materialien erforderlich, um die weltweite Übernutzung von Ressourcen zu bremsen. Das gilt für Metalle in Elektrogeräten oder Industrieanlagen ebenso wie für Sand oder Kies in Baustoffen oder Feuerfestbetone. Forschungsinstitute der Zuse-Gemeinschaft arbeiten für Schlüsselbranchen erfolgreich am sparsameren Umgang mit wertvollen Rohstoffen.

Während für Verpackungen gesetzliche Vorgaben zur Steigerung des Recyclinganteils gelten, lebt das Interesse an mehr Recycling in anderen Branchen von wirtschaftlichen Anreizen. Das gilt beispielsweise für den begehrten Rohstoff Bauxit als Erz, der eine wichtige Basis für feuerfeste Werkstoffe ist. Die auch als Feuerbetone bekannten Produkte werden in Stahlwerken, Gießereien oder Kraftwerken aufgrund der sehr hohen Betriebstemperaturen benötigt. Der Zugang zu den asiatischen Rohstoffquellen dürfte künftig nicht leichter werden. Das erhöht die Attraktivität des Recyclings in Deutschland.

Feuerfeste Produkte sind aber durch Eindringen von Gasen oder Flüssigkeiten häufig leicht verunreinigt. „Daher untersuchen

wir, welche Auswirkungen bestimmte Verunreinigungen auf die Eigenschaften feuerfester Produkte haben und wie sich Rezepturen als Recycling-Rohstoffe zielgerichtet für die Weiterverarbeitung optimieren lassen“, erläutert Christian Dannert von der Forschungsgemeinschaft Feuerfest (FGF), Mitglied der Zuse-Gemeinschaft.

Feuerbetone werden ähnlich wie Baubetone in Formen gegossen. Die FGF hat bereits erfolgreich Methoden entwickelt, mit denen gemessen werden kann, wie sich Verunreinigungen auf die Verarbeitung von Feuerbetonen auswirken. Ein wichtiges Kriterium für die Forscher: Das Bestimmen elektrischer Ladungen auf Partikeloberflächen in Feuerbetonen. Denn je stärker sich die Partikel abstoßen, desto besser lassen sich die Feuerbetone verarbeiten. „Mit den von uns entwickelten Methoden tragen wir dazu bei, dass in einer Gießerei eine feuerfeste Zustellung optimal eingebaut werden kann“, erläutert FGF-Forschungsleiter Dannert. Das Potenzial zum Einsatz von recyceltem Bauxit in Feuerbetonen liegt alleine in Deutschland bei mehreren 10.000 Tonnen im Jahr.

## Mit Röntgenstrahlung Metall und Keramik leuchten lassen

Benötigt werden Feuerbetone auch in Industrieanlagen fürs Recycling, beispielsweise von Metallen. Während sich Eisen durch Magnete relativ gut von anderen Stoffen trennen lässt, ist dies beispielsweise bei Kupfer und Aluminium schwieriger. Das gilt erst recht, wenn die Stoffe aus einer Müllverbrennungsanlage kommen und farblich nicht unterscheidbar sind. Für ihre feine, saubere Trennung wird am Institut für Angewandte Photonik (IAP) in Berlin-Adlershof die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) genutzt. Dafür bestrahlen die

Forscher Elektroschrott-Teilchen mit Röntgenstrahlung. Die so angeregten Metalle geben Fluoreszenzstrahlung ab, deren Energie für jedes Atom charakteristisch ist. Das von den Berliner Forschern eingesetzte Verfahren lässt sich auch zur Erkennung von Glaskeramikanteilen im Altglas anwenden, um solche fürs Glasrecycling gefährlichen Fremdstoffe auszusortieren. Denn Keramik schmilzt bei viel höheren Temperaturen als Glas und führt daher beim Aufschmelzen des Materials zu Klumpen.

Das Verfahren steht derzeit noch vor einer kommerziellen Umsetzung. Doch mit weiter steigenden Preisen auf Metall- und Recyclingmärkten könnte das IAP-Verfahren künftig wieder verstärkt in den Fokus von Anwendern rücken.

## Leichtbeton aus dem Drehrohren

Angesichts sich verknappender Rohstoffe ist mehr Recycling auch in der Baubranche gefragt. Expertise wurde daher am Institut für Angewandte Bauforschung (IAB) in Weimar aufgebaut, wo der kürzlich gegründete Fachbereich Baustoffrecycling unter anderem einen neuen Drehrohren als Herzstück der Recycling-Forschung betreut. Konkret forscht der Fachbereich daran, zu Pulver zerkleinerte Bauabfälle, welche die ganze Palette der Wandabbruchmaterialien wie beispielsweise Altbeton, Ziegel und Kalksandsteine umfassen, so zu modifizieren, dass aus den Gemischen leichte Gesteinskörnungen hergestellt werden können. ◀

*Kontakt:*

Zuse-Gemeinschaft,  
Invalidenstraße 34, 10115 Berlin,  
[www.zuse-gemeinschaft.de](http://www.zuse-gemeinschaft.de)

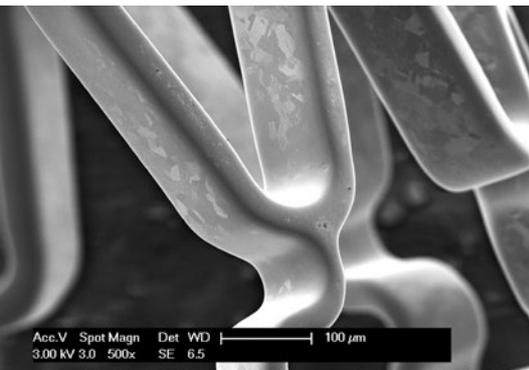


**Bild 1** Gerät zur Bestimmung elektrischer Ladungen auf Partikeloberflächen in Feuerbetonen  
(© Forschungsgemeinschaft Feuerfest)

# Besser verträgliche Stents

Verengen Ablagerungen die Blutgefäße, setzen Mediziner Stents ein: Sie sollen die verstopften Passagen weiten. Doch mitunter wehrt sich das Immunsystem des Patienten gegen diese Implantate, es kann zu Fremdkörperreaktionen kommen. Durch optimierte Beschichtungen konnten Dresdner Forscher gemeinsam mit Projektpartnern die Bioverträglichkeit der Stents deutlich verbessern.

Sind Blutgefäße durch Ablagerungen verstopft, drohen Herzinfarkt oder Schlaganfall. Ärzte setzen daher Stents in die betroffenen Gefäße ein: Feine, röhrenförmige Geflechte aus Edelstahl, die nach dem Einsetzen aufgedehnt werden und die Blutbahn offen halten. Bei etwa einem Viertel der Patienten treten jedoch durch eine Immunantwort unerwünschte Effekte auf – etwa Entzündungen, eine Abstoßung des Fremdkörpers oder die Anlagerung von Gewebe. Diese Körperreaktionen führen dazu, dass sich das behandelte Blutgefäß leichter wieder verschließt. Hersteller gehen daher dazu über, die Stents zu beschichten und ihre Verträglichkeit auf diese Weise zu erhöhen. Das geschieht beispielsweise mit Titanoxinitrid, einer Beschichtung aus Titan, Sauerstoff und Stickstoff. Das Problem: Die Schichten gelangen nicht immer, mitunter weisen sie Lücken auf. Hinzu kommt, dass die Beschichtung nicht an allen Stellen gleich dick ist. Ergo können die Beschichtungen das Risiko von Fremdkörperreaktionen zwar senken, gänzlich ausschließen können sie solche Komplikationen jedoch noch nicht.



**Bild 1** Mit Titanoxinitrid beschichteter Stent  
(© Fraunhofer IKTS)

## Optimierte Beschichtung

Ein Forscherteam des Fraunhofer-Instituts für Keramische Technologien und Systeme IKTS konnte die Stent-Beschichtungen nun optimieren und damit deren Biokompatibilität deutlich verbessern. Das von deutscher Seite vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF geförderte Verbundprojekt wurde gemeinsam mit dem polnischen Stenthersteller Balton, der russischen Firma VIP Technologies und der University Politehnica of Bucharest realisiert. „Die Biokompatibilität hängt von zahlreichen Werkstoffparametern ab – unter anderem von der Oberflächenrauigkeit, Benetzbarkeit und der chemischen Zusammensetzung der Beschichtung«, erläutert Dr. Natalia Beshchasma, Wissenschaftlerin am Fraunhofer IKTS und Leiterin des Projekts. „Diese Parameter konnten wir gezielt anpassen, indem wir den Abscheidungsprozess technologisch weiterentwickelt haben, was wiederum die Verträglichkeit der Stents verbessert. „

Es gelang, die Bedeckungsrate der Stents mit der Beschichtung um zehn Prozent zu steigern – statt bei 80 Prozent liegt sie nun bei 90 Prozent. Das war keine einfache Aufgabe, da die Außenoberfläche der Stents gewebekompatibel, die Innenoberfläche hingegen blutkompatibel sein muss. Zudem muss die Schicht an allen Ecken und Kanten des Drahtgeflechts gleich dick und elastisch sein, damit der Stent ohne Beschädigung der Schicht in der Blutbahn aufgedehnt werden kann.

## Stellschraube: Chemische Zusammensetzung

Üblicherweise werden die Schichten über ein Plasma erzeugt. Dafür wird unter Vakuum ein Titantarget mit Argon-Ionen beschossen,

wodurch Atome herausgeschlagen werden. Zusätzlich wird eine Gasmischung aus Sauerstoff und Stickstoff in die Vakuumkammer eingeleitet. Das Resultat: Auf dem Stent entsteht eine Schicht, die sowohl Titan als auch Sauerstoff und Stickstoff enthält. Als Ansatzpunkt für die Optimierung wählten die Forscherinnen und Forscher vor allem die chemische Zusammensetzung der Schicht – insbesondere das Verhältnis von Sauerstoff und Stickstoff. »Dazu haben wir eine Matrix erstellt, anhand derer wir die Gasmischungsverhältnisse variiert haben«, berichtet Beshchasma. Diese verschiedenen Mischungen lassen sich über die Menge des entsprechenden Gases einstellen, das in die Vakuumkammer eingeleitet wird. Nach der Erzeugung der Schichten untersuchten die Forscher deren Eigenschaften, unter anderem die Oberflächenmorphologie, die chemische Zusammensetzung sowie die Benetzbarkeit. Die Ergebnisse zeigen, dass das optimale Verhältnis von Sauerstoff zu Stickstoff bei drei zu fünf liegt.

Eine weitere wichtige Fragestellung war, ob die Beschichtung der Belastung des vorbeiströmenden Blutes standhält. Um dies zu beantworten, entwickelten die Forscher ein System, in dem die Stentoberfläche mit künstlichem Blutplasma umströmt wird – und zwar bei unterschiedlichen Temperaturen, Drücken und Strömungsgeschwindigkeiten. Über zwei Monate unterzogen die Wissenschaftler die Beschichtungen dieser Prozedur. Mit Erfolg: Die Beschichtung hielt stand. ◀

### Kontakt:

Fraunhofer-Institut für Keramische  
Technologien und Systeme,  
Winterbergstr. 28, 01277 Dresden,  
[www.fraunhofer.de](http://www.fraunhofer.de)

# Die perfekte Solarzelle

Silizium gilt als Platzhirsch unter den Solarzell-Technologien. Doch schnell haben metallorganische Perowskit-Solarzellen aufgeholt und im Labor ebenfalls Wirkungsgrade von 25 Prozent erreicht. Ein Team von sechs Wissenschaftlern des KIT hat Belege für ferroelektrische Mikrostrukturen gefunden und kann damit die Eigenschaften moderner Perowskit-Solarzellen erklären. Für diese herausragende Leistung erhielt das Team den Erwin-Schrödinger-Preis der Helmholtz-Gemeinschaft und des Stifterverbandes.

„Für die Stromversorgung aus erneuerbaren Energien ist die Photovoltaik ein wichtiger Baustein mit hohem Potenzial in Forschung und Entwicklung – gerade mit Blick auf die eingesetzten Materialien“, sagt der Präsident des KIT, Professor Holger Hanselka. „Mit seiner Forschung, die die Felder Optoelektronik und keramische Werkstoffe erfolgreich kombiniert, liefert das Team des KIT entscheidende Beiträge zur Weiterentwicklung der Perowskit-Solarzellen. Mit solchen neuartigen Materialien in künftigen Solarzellen-Generationen kann Sonnenlicht noch effizienter in elektrischen Strom umgewandelt werden – und das mit einem Material, das technisch einfach zu verarbeiten und kostengünstig ist. Der Erwin-Schrödinger-Preis ist eine herausragende Auszeichnung dieser Leistung.“

Wie sähe die perfekte Solarzelle aus? Neben der schwarzen Oberfläche für eine

optimale Absorption des Lichtes führt die perfekte Solarzelle die durch das Licht erzeugten Ladungsträger effizient aus dem Bauteil zu den Elektroden und minimiert so Rekombinationsverluste. Es gehen somit weniger Ladungsträger verloren. Dem Wissenschaftler-Team ist es gelungen, Expertise aus den Bereichen der Optoelektronik und der Keramischen Werkstoffe so zusammenzubringen, dass sie ein vertieftes Verständnis der Perowskit-Solarzellen ermöglichen. Das multidisziplinäre Team aus den Fächern Elektrotechnik, Materialwissenschaften und Physik hat nun im neuen Materialwissenschaftlichen Zentrum für Energiesysteme (MZE) des KIT den Nachweis erbracht, dass ein typischer Baustein von metallorganischen Perowskit-Solarzellen, Methylammonium-Bleiiodid (MAPbI<sub>3</sub>), ferroelektrisch ist: MAPbI<sub>3</sub>-Dünnschichten bilden spontan alternierende polare Domänen mit einer typischen Breite von 90 nm. „Die mikroskopischen elektrischen Felder in den Domänen können helfen, die photogenerierten Ladungsträger voneinander zu trennen und damit ihre Rekombination zu reduzieren“, sagt Holger Röhm, Doktorand am MZE. Gemeinsam mit Tobias Leonhard und Alexander D. Schulz hat Röhm die mikroskopischen elektrischen Felder des ferroelektrischen MAPbI<sub>3</sub> und seine Mikrostruktur untersucht.

Unter dem Dach des MZE versammelte das Team Experten aus der Photovoltaik und den Materialwissenschaften, um die einzigartigen Eigenschaften der Perowskit-Solarzellen zu analysieren. „Es war faszinierend zu sehen, wie Solarzellen mit Methoden charakterisiert werden können, die bislang für die Analyse klassischer Keramiken eingesetzt wurden“, sagt Michael J. Hoffmann,

Leiter des Institutes für keramische Werkstoffe und Technologien, der seit mehr als drei Jahrzehnten ferroelektrische Keramiken untersucht. Und tatsächlich kann die Ferroelektrizität als Schlüsseleigenschaft von Perowskit-Solarzellen ein neues Designkriterium für neuartige lichtabsorbierende Materialien in Solarzellen bieten.

Alexander Colsmann, Leiter der Forschungsgruppe Organische Photovoltaik, betont, dass „MAPbI<sub>3</sub>-Perowskit-Solarzellen bekanntlich instabil und ihre Zersetzungsprodukte wasserlöslich und umweltgefährdend sind“, was einen dringenden Bedarf an bleifreien Alternativen zeigt. Während in der Vergangenheit durch die schrittweisen Modifikationen der Kristallzusammensetzung keine bleifreien Alternativen zu MAPbI<sub>3</sub> mit ausreichender Photovoltaikleistung entdeckt wurden, ist die in den Perowskit-Solarzellen beobachtete Ferroelektrizität ein vielversprechendes Muster für eine neue Klasse von potenziell stabileren und umweltfreundlicheren Solarzellen. „Es ist faszinierend zu sehen, wie zwei Forschungsbereiche miteinander verschmelzen, die in der Vergangenheit nichts gemeinsam hatten, aber die Zukunft der modernen Photovoltaik prägen können“, resümiert Susanne Wagner, Expertin des Teams für die Charakterisierung von Ferroelektrika und ihrer Mikrostruktur. Der Erwin-Schrödinger-Preis unterstreicht die führende Position des KIT in der Materialforschung zur photovoltaischen Energieumwandlung. ◀

*Kontakt:*

KIT – Karlsruher Institut für Technologie,  
Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe,  
[www.kit.edu](http://www.kit.edu)



**Bild 1** Verleihung des Erwin-Schrödinger-Preises an das multidisziplinäre Team des KIT auf der Jahrestagung der Helmholtz-Gemeinschaft (© Marco Urban)

# Keramik 2.0

Professor Jürgen Rödel hat für die TU Darmstadt ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördertes Reinhart-Koselleck-Projekt eingeworben. Mit dem Programm werden besonders innovative und im positiven Sinne risikobehaftete Forschungsprojekte ausgezeichnet. Dafür stehen für einen Zeitraum von fünf Jahren 1,25 Millionen Euro zur Verfügung. Das Ziel der Wissenschaftler: den Werkstoff Keramik neu erfinden.

Bei Keramik denkt man an Geschirr oder scharfe Messer. Aus dem harten wie spröden Material lasse sich aber noch viel mehr herausholen, findet Professor Jürgen Rödel vom Fachgebiet für Nichtmetallisch-Anorganische Werkstoffe der TU Darmstadt. Er sucht nach neuen Anwendungen für die aus vielen winzigen Kristallen bestehenden Materialien (Polykristalle). Rödel's Ansatz scheint zunächst paradox. Der Materialforscher will Keramiken verbessern, indem er ihren atomaren Aufbau stört. „Allerdings wollen wir das kontrolliert tun“, sagt er. Sein Team konzentriert sich auf eine Art von Kristalldefekten, deren Herstellung für Metalle zwar trivial, für harte Keramiken bislang aber kaum denkbar schien.

„Wir nutzen dafür Verfahren, die weder Chemiker noch Physiker verwenden“, erklärt Rödel. Dazu gehört die mechanische Verformung von Keramiken unter kontrolliertem Druck und kontrollierter Temperatur. Da die Darmstädter zudem die Methoden zur Charakterisierung der Materialien beherrschen, sehen sie sich als ideale Experten für die Aufgabe. Einige Arten von Kristalldefekten sind gut erforscht. Einer davon ist das Fehlen

eines Atoms im sonst regelmäßig geformten Kristallgitter. Ein solcher „Punktdefekt“ ähnelt einem leeren Platz in einem sonst vollen Kinosaal. Punktdefekte erhöhen die elektrische Leitfähigkeit von Halbleitern in der Elektronik. Gut erforscht sind auch zweidimensionale Defekte. Das sind Flächen, die zwei Körner im Polykristall abgrenzen.

Der dazwischenliegende Fall eines eindimensionalen Defekts hingegen sei für Keramiken Neuland geblieben, da Chemie alleine nicht genüge, sagt Rödel. Bei einer Versetzung zieht sich eine Störung als gerade Linie quer durch den Kristall. Übertragen auf die „Kinosaal“-Metapher wäre das eine leere Sitzreihe.

Versetzungen in Keramiken sind elektrisch geladen, was sie technisch interessant macht. Sie dienen als Kanal für elektrische Ladung und erhöhen somit die elektrische Leitfähigkeit. Da sie gleichzeitig die Ausbreitung von Wärme bremsen, eignen sie sich für „Thermoelektrika“. Diese Materialien wandeln Abwärme in Strom um. Rödel nennt einen weiteren, zur Erhöhung der Effizienz von Brennstoffzellen nutzbaren Effekt: „An den Enden der Versetzungen, also an der

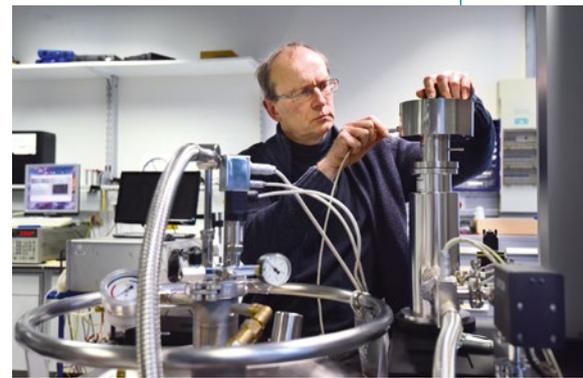


Bild 1 Professor Jürgen Rödel bei der Arbeit im Labor (© Claus Völker/ TU Darmstadt)

Kristalloberfläche, kann Sauerstoff ein- oder ausgebaut werden.“ Zudem bleiben Versetzungen bis 500 °C stabil, während sich Punktdefekte schon bei rund 100 °C bewegen.

Voraussetzung für die technische Nutzung ist es, Versetzungen planvoll in eine Keramik einzubringen. Das gelingt bislang kaum. Rödel's Team will das ändern. „Wir versuchen, eine möglichst hohe Dichte an Versetzungen in Keramiken zu erzeugen“, so Rödel. Eine der Herausforderungen ist es, die optimale Temperatur, elektrische Spannung und andere Parameter für die mechanische Verformung zu finden. „Das Ergebnis ist noch offen.“ Aber es geht voran: Die ersten Partner in seinem Netzwerk arbeiten an versetzungsbestimmter Photovoltaik in England und an hochauflösender Elektronenmikroskopie in Japan. ◀

#### Kontakt:

Technische Universität Darmstadt,  
FG Nichtmetallisch-Anorganische  
Werkstoffe, Alarich-Weiss-Straße 2,  
64287 Darmstadt,  
[www.mawi.tu-darmstadt.de](http://www.mawi.tu-darmstadt.de)

## Über die Universität

Die TU Darmstadt zählt zu den führenden Technischen Universitäten in Deutschland. Sie verbindet vielfältige Wissenschaftskulturen zu einem charakteristischen Profil. Ingenieur- und Naturwissenschaften bilden den Schwerpunkt und kooperieren eng mit Geistes- und Sozialwissenschaften. Die TU Darmstadt steht weltweit für herausragende Forschung in den Profildomänen Cybersecurity, Internet und Digitalisierung, Kernphysik, Energiesysteme, Strömungsdynamik und Wärme- und Stofftransport und Erforschung neuer Materialien für Produktinnovationen. An der TU Darmstadt arbeiten 312 Professoren und 4.450 wissenschaftliche und administrativ-technische Mitarbeiter. Mit knapp 26.000 Studierenden bildet die TU Darmstadt zusammen mit der Goethe-Universität Frankfurt und der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz die strategische Allianz der Rhein-Main-Universitäten.

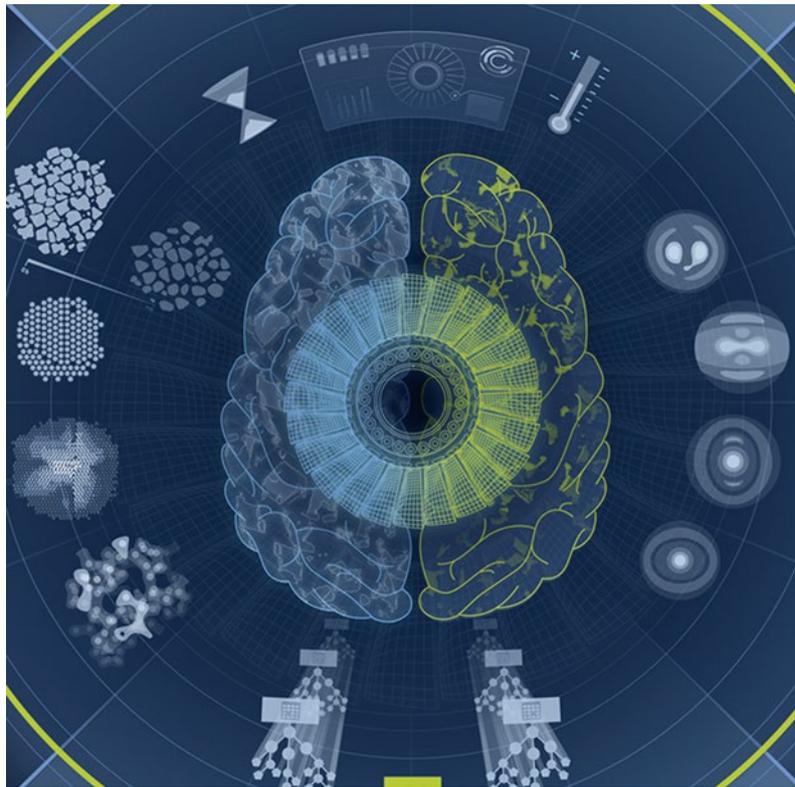
# Datenplattform für Forschungswissen

Wie werden wir in Zukunft Forschung betreiben und Produkte entwickeln? Wie werden wir gewonnene Erkenntnisse Kolleginnen und Kollegen zur Verfügung stellen, die sich vielleicht auf der anderen Seite der Welt befinden? Den Weg zu einer digitalen Infrastruktur für materialwissenschaftliche Forschungsdaten soll das Verbundprojekt »Innovations-Plattform MaterialDigital« ebnen. Ziel dabei ist, einen virtuellen Materialdatenraum aufzubauen und so den Umgang mit Werkstoffdaten zu systematisieren.

Die Digitalisierung setzt schon heute auch für die Wissenschaft neue Maßstäbe, denn sie verspricht, gewonnene Informationen barrierefrei zugänglich zu machen und dadurch den Kenntniserwerb extrem zu beschleunigen. Geeignete Datenräume sind dabei nicht nur imstande Wissen hochgradig zu strukturieren und dadurch vereinfacht abrufbar zu machen, sondern auch mittels moderner statistischer Methoden den Datenschatz zu ergänzen und so neue Erkenntnisse zu generieren.

Für die Materialwissenschaften soll die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanzierte Innovations-Plattform MaterialDigital nun Pionierarbeit zur digitalen Vereinheitlichung von Werkstoffdaten und -informationen leisten. Im Verbundprojekt zwischen der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), dem Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik IWM, der Helmholtz-Gemeinschaft (repräsentiert durch das Karlsruher Institut für Technologie KIT), dem Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien - IWT sowie dem Max-Planck-Institut für Eisenforschung werden die Projektpartner erste Ansätze entwickeln, um das dafür notwendige, komplexe Datenmanagement zu bewältigen. Hierzu sollen Beiträge aus allen mit der Materialentwicklung und -verarbeitung befassten Sektoren wie Industrie, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und Universitäten zusammengeführt werden.

Zum Aufbau einer Datenplattform müssen zunächst zahlreiche Fragen beantwortet werden: Eine gemeinsame Infrastruktur verlangt beispielsweise nicht nur nach IT- und Servermanagement, nach Standardisierung und einheitlichen Bezeichnungen oder



**Bild 1** Ziel des Projekts ist, einen virtuellen Materialdatenraum aufzubauen und so den Umgang mit Werkstoffdaten zu systematisieren (© Fraunhofer IWM)

Ontologien, sondern auch nach der Definition von Autorenschutzrechten, Datensouveränität und -sicherheit. Mit dem Startschuss des Projekts am 1. Juli 2019 haben sich die Verbundpartner vorgenommen, diese und weitere Fragestellungen von nun an gemeinsam mit Partnern aus der Industrie zu konkretisieren und erste Herangehensweisen zu erarbeiten. Die enge Anbindung an die materialwissenschaftliche Community soll dabei garantieren, dass die entwickelten Ansätze den praktischen Bedürfnis-

sen bestmöglich gerecht werden – und im Umkehrschluss auch für die relevante Zielgruppe zur Anwendung geeignet sind. Denn einer so übergreifenden Veränderung, wie sie die Digitalisierung langfristig darstellt, kann die Gemeinschaft der Materialwissenschaften nur geschlossen begegnen. ◀

**Kontakt:**  
Bundesanstalt für Materialforschung und  
-prüfung (BAM), Unter den Eichen 87,  
12205 Berlin, [www.bam.de](http://www.bam.de)

# Risiko 3D-Druck

Drucken statt gießen, fräsen oder stanzen. Additive Druckverfahren revolutionieren die Produktionsprozesse und senken die Materialkosten signifikant. Doch die Fertigung per 3D-Drucker wirft auch gravierende Haftungsfragen auf. Die neue Technik braucht einen speziellen Versicherungsschutz.

Um ihre Firmenkunden zu schützen, hat die R+V Versicherung, Wiesbaden, deshalb die Betriebs- und Produkthaftpflichtversicherung umfassend an die neuen Risiken angepasst und nimmt damit unter Deutschlands Versicherern eine Vorreiterstellung ein. Ob Maschinenbauteile, Autozubehör oder passgenaue Zahnprothesen: 3D-Drucker stellen selbst hochkomplexe Objekte aus Metall, Kunststoff oder Keramik per Mausclick her – hoch individualisiert, schnell und kostengünstig. Doch was passiert, wenn nicht alles rund läuft? Wenn die Bauteile durch einen Fehler in der Drucksoftware unbrauchbar sind, nicht den Qualitätsanforderungen entsprechen und beim Gebrauch brechen oder der Käufer seine Produktion wegen zu hoher Ausschussquoten an mangelhaften Teilen stoppen muss?

„Der 3D-Druck wirft neue Fragen zum Versicherungsschutz auf. Das gilt insbesondere in Bezug auf die Produkthaftung, Produktrückrufe und eventuell eintretende Eigenschäden des Herstellers, weil er seine ursprünglich genutzten Zulieferer nicht mehr in Regress nehmen kann“, sagt Burkhard Krüger, Abteilungsleiter Haftpflicht Firmenkunden. „Als Versicherer des Genossenschaftlichen Finanzverbands haben wir daher für unsere Firmenkunden, die Produkte in eigener Regie im 3D-Druckverfahren herstellen oder externe 3D-Druckzentren betreiben, unsere Haftpflichtversicherung umfassend erweitert.“

Ein zentrales Element ist die Mitversicherung von Rechtsverletzungen. Außerdem sichert die R+V den Nutzungsausfall beziehungsweise den Ersatz vergeblicher Aufwendungen des Abnehmers ab und reduziert die sonst üblichen Ausschlüsse, zum Beispiel hinsichtlich der sogenannten Erprobungsklausel. In dem neuen Baustein

zur Absicherung von Ansprüchen und Schäden aus der Nutzung von Additiven Druckverfahren geht die Versicherung über die Deckung der klassischen Haftpflichtversicherung hinaus und ersetzt auch Eigenschäden des Herstellers.

Sind die hergestellten Produkte aufgrund eines Mangels unbrauchbar, übernimmt die Versicherung zum Beispiel die Materialkosten für nicht wiederverwendbare Rohstoffe und die Entsorgungskosten für den produzierten

Ausschuss. Darüber hinaus übernimmt sie die Mehrkosten des Herstellers, die notwendig sind, um eine drohende Betriebsunterbrechung zu vermeiden. So können die Firmenkunden auf einen Rundumschutz vor neuen Risiken des 3D-Drucks zurückgreifen. ◀

**Kontakt:**

R+V Allgemeine Versicherung AG,  
Raiffeisenplatz 1, 65189 Wiesbaden,  
[www.ruv.de](http://www.ruv.de)

ANZEIGE

Fast 90 Jahre sind wir als Zulieferant für die keramische Industrie und das Töpferhandwerk tätig. Unter Anderem entwickeln und produzieren wir eigene Glasuren und Tonmassen. Unser Firmensitz befindet sich im Westerwald **im Herzen des Kannebäckerlandes**.

**Wir stellen ein** (w/m/d):

## **Keramik-Ingenieur** oder **Keramik-Techniker**

Zu Ihren Aufgaben gehören u.A. Kundenbetreuung, Entwicklung von Massen und Glasuren, Produktionsüberwachung und Qualitätskontrolle.

Ihre aussagekräftige Bewerbung (mit Gehaltsvorstellung) schicken Sie bitte per e-mail an [k.veyand@carl-jaeger.de](mailto:k.veyand@carl-jaeger.de) oder per Post z.Hd. Karl Weyand.

*Ihr Partner  
in Sachen Keramik*

**CARL JÄGER** Seit 1930  
Tonindustribedarf GmbH  
In den Erlen 4 - 56206 Hilgert  
[www.carl-jaeger.de](http://www.carl-jaeger.de)

# Laser-Marking für dauerhafte Markierungen

Axel Schmidt<sup>1</sup>

Das Unternehmen Ferro mit Sitz in Frankfurt bietet Lasermarkierhilfsmittel für eine Anwendung in unterschiedlichsten Marktsegmenten. Für die Verwendung auf keramischen Oberflächen hat das Unternehmen das Lasermarkiermaterial optimiert und auf das Substrat abgestimmt. Mit dem Laserbonding kann mit geringerem Energieaufwand markiert werden, als im Ofenbrand.

Viele Produktionsschritte sind in der Industrie ohne den Laser als Werkzeug heute nicht mehr vorstellbar. Anwendungspotential für Lasermarkierungen findet sich dabei in vielen Marktsegmenten wie in der Materialbearbeitung für das Schneiden, Gravieren und Schweißen, in der Chirurgie oder in der Beleuchtungs- und Projektionstechnik. Gerade in der produzierenden Industrie, in der viele Produkte schnell und kosteneffizient markiert werden müssen, bietet der Laser eine Lösung (Bild 1). Es können Oberflächen unterschiedlicher Materialien wie Metall, Kunststoff, Glas oder Keramik per Laser dauerhaft markiert oder beschriftet werden.

Markierungen mittels Laser eignen sich zur Dekoration unterschiedlicher Gegenstände, sie bieten aber auch einen hohen funktionalen Nutzen für den Anwender. Viele Unternehmen verwenden den Laser in der Produktion als Werkzeug für die Identifikation und

Serialisierung von Bauteilen und Artikeln. Die hochauflösende Beschriftung ermöglicht die Maschinenlesbarkeit von QR- und Barcodes und damit ein In-Prozess Tracking von Bauteilen in der Produktion. Neben der eindeutigen Rückverfolgbarkeit wird zudem die Fälschungssicherheit erhöht. Einen hohen Nutzen für Anwender bieten außerdem die guten Haftungseigenschaften, mit denen Eichmarken und Skalen dauerhaft auf Messgeräten aufgebracht werden können.

## Faserlasersysteme erzielen bessere Haftungsergebnisse

Mit der Bereitstellung prozessgerechter Fokussiersysteme werden die vielfältigen Anwendungen des Werkzeugs Laser ermöglicht. In einer Scan-Linsen-Konfiguration kann mit dem Einsatz einer F-Theta Linse in einem ein- oder zweiachsigen Galvo-Spiegelsystem der Laserstrahl schnell posi-

tioniert und fokussiert werden. Während Standard-Fokussierlinsen den Strahl nur auf einen Punkt fokussieren können, wird der Strahl mit Scan-Linsen auf beliebige Punkte eines Scan-Feldes oder eines Werkstückes ausgerichtet. Die Verwendung dieser Fokussierlinsen in modernen Lasermaschinen garantiert die genauen Bearbeitungsergebnisse, die beim Laserbeschriften gefordert sind.

Bei den beschriebenen Verfahren dominieren immer mehr leistungsstarke Faserlasersysteme. Diese zählen zur Gruppe der Festkörperlaser. Sie erzeugen den Laserstrahl mittels eines Seed Lasers und verstärken ihn in Glasfasern, denen über Pumpdioden Energie zugeführt wird. Ihre Intensität ist bis zu 100-fach höher als bei CO<sub>2</sub>-Lasern gleicher mittlerer abgegebener Leistung.

Die neuentwickelten Faserlasersysteme verbessern die Markierungszeit, Fertigungseffizienz und Qualität. Mit ihnen lassen sich bessere Haftungsergebnisse bei der Markierung auf Glas und keramischen Substraten erzielen, was auch zu einer Optimierung des „Tape“-Verfahrens führt. Ihr Vorteil ist, dass sie wartungsfrei sind und eine lange Lebensdauer von mindestens 25.000 Laserstunden aufweisen.

## Markiermaterialien für verschiedene Substratoberflächen

Um qualitativ hochwertige Ergebnisse bei der Laserbeschriftung und -markierung zu erzielen, verwenden Unternehmen verschiedene Lasermarkiermaterialien. Ferro bietet

Lasermarkierungen finden in vielen Marktsegmenten Anwendung		
Marktsegmente	Anwendungen	Nutzen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auto-, Luft-, Raumfahrtindustrie</li> <li>• Sportartikel</li> <li>• Werbeartikel</li> <li>• Sanitär</li> <li>• Fliesen</li> <li>• Küchengeräte</li> <li>• Kosmetik und Trinkflaschen</li> <li>• Glasgeschirr und Geschenke</li> <li>• Chirurgische Geräte</li> <li>• Werkzeuge</li> </ul>	<b>Serialisierung</b> von Bauteilen mit einem Bar- bzw. QR-Code	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimierung des Produktionsprozesses</li> <li>• Eindeutige Rückverfolgbarkeit von Artikeln</li> <li>• Höhere Fälschungssicherheit</li> </ul>
	<b>Dekoration</b> von Objekten wie Werbeartikel, Pokale oder Türschilder mit Firmenlogos, Bildern oder Schriftzügen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variabilität durch softwaregesteuerte individuelle Beschriftung</li> </ul>
	<b>Eichmarken und Skalen</b> auf Messgeräten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Präzision und gute Haftungseigenschaften auf der markierten Oberfläche</li> </ul>

Bild 1 Marktsegmente für Lasermarkierungen (© Ferro)

### Arbeitsschritte bei der Anwendung von Lasermarkiermaterialien



Bild 2 Arbeitsschritte bei der Lasermarkierung (© Ferro)



Bild 3 Sanitärprodukte lassen sich mit dem Laser dauerhaft markieren (© Ferro)

Flüssigprodukte zum Aufpinseln und Aufsprühen aber auch als Tape an. Abhängig von der zu markierenden Substratoberfläche werden gängige Laserarten wie der CO<sub>2</sub>-, YAG- oder der Faserlaser für den Markierungsprozess verwendet.

Eigenschaften der Markierung:

- ▶ **Permanente Markierung:** Das bedeutet eine sehr hohe thermische, mechanische und chemische Beständigkeit.
- ▶ **Hoher Kontrast:** Dieser garantiert eine gute Lesbarkeit aufgrund tiefschwarzer und matter Schriftzüge.
- ▶ **Detailauflösung (< 80 µm):** Bilder lassen sich realistisch darstellen.

Die Anwendung der Materialien lässt sich einfach in den Produktionsprozess integrieren und ist in kurzer Zeit durchgeführt. Die Arbeitsschritte sind in Bild 2 dargestellt.

### Lasermarkierungen für keramische Werkstoffe

Ein vielseitiges Anwendungsfeld für Lasergravuren oder -beschriftungen bietet der Werkstoff Keramik. Für eine dauerhafte Beschriftung und Markierung auf keramischen Oberflächen ist es essentiell, dass die thermische Ausdehnung des verwendeten Materials auf das zu markierende Substrat

abgestimmt ist. So wird verhindert, dass das mit dem Laser aufgeschmolzene Material abplatzt.

Um dies zu vermeiden, enthält das Material einen sehr fein gemahlene Glasfluss. In Mikrosekunden wird das Markiermaterial durch die vom Laser abgegebene Energie aufgeschmolzen und verbindet sich dauerhaft mit dem Substrat. Bei diesem chemischen Vorgang, auch Laserbonding genannt, verbinden sich unter Energieeinwirkung die Siliziumatome des Glasflusses und der keramischen Oberfläche mit Sauerstoffatomen. Der Vorgang findet punktuell und zielgerichtet statt und ist zudem durch den geringeren Energieaufwand umweltfreundlicher als der alternative Ofenbrand.

Ein geeignetes Anwendungsfeld für Lasermarkierungen ist insbesondere der Sanitärbereich mit den aus keramischen Werkstoffen hergestellten Produkten, wie Toiletten, Bidets, Waschbecken oder Badewannen. Markenprodukte können mit dem Laser schnell und kostengünstig mit dem Firmenlogo versehen werden (Bild 3). Die zeit- und energieintensive Beschriftung mittels Abziehbild oder Siebdruck entfällt. Zudem können in großer Stückzahl im Ofen gebrannte Keramiken je nach Bedarf auch zu einem späteren Zeitpunkt markiert werden.

In der technischen Keramik findet die Lasermarkierung Anwendung bei der Beschriftung von Keramikkondensatoren, deren Trägerwerkstoff aus Gemischen verschiedener gepresster Metalloxide besteht und deren Metallisierung auf den Außenflächen aufgebrannt wird. Auch Zündkerzen, die in Ottomotoren und beim Anlassen von Gasturbinen und Strahltriebwerken die für die Zündung des Kraftstoff-Luft-Gemisches nötigen Zündfunken zwischen ihren Elektroden erzeugen, können mit dem Laser dauerhaft markiert werden. Hier findet die Beschriftung auf der isolierenden Keramik der Zündkerze statt (Bild 4).



Bild 4 Zündkerzen eignen sich für die Lasermarkierung (© Ferro)

*Kontakt:*

Ferro GmbH, Gutleutstraße 215,  
60327 Frankfurt am Main, [www.ferro.com](http://www.ferro.com)

1 Axel Schmidt, Technical Sales Manager Flat Glass, Ferro GmbH

# Robuster Feststoffakku

Wissenschaftler des Forschungszentrums Jülich haben eine Natrium-Festkörperbatterie auf Keramikbasis entwickelt, die nach 100 Ladezyklen noch über 90 Prozent ihrer anfänglichen Kapazität aufweist. Für Festkörperbatterien, die sich aktuell noch im Laborstadium befinden, ist das ein sehr guter Wert. Vergleichbare Resultate ließen sich bislang nur mit Bauformen erzielen, die Flüssigkeiten oder zusätzliche weiche Schichten enthalten.

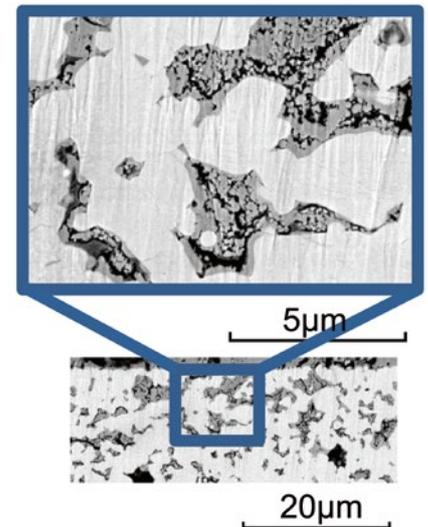
Festkörperbatterien vereinen gegenüber aktuellen Lithium-Ionen-Batterien mit flüssigem Elektrolyt mehrere Vorteile. Sie können weder auslaufen noch in Brand geraten, und gelten daher als naturgemäß sicher und unempfindlich. Auch wird weniger Technik benötigt, um die Zellen vor Stößen zu schützen und für stabile Temperaturen zu sorgen, was zusätzlich dabei hilft, Gewicht und Kosten einzusparen.

Da Festkörperbatterien zudem sehr hohe Energiedichten erreichen können, wird weltweit intensiv daran geforscht. Doch trotz aller Anstrengungen sind reine Festkörperbatterien, die keine flüssigen oder weichen, polymerartigen Schichten mehr enthalten, von der Marktreife noch weit entfernt. Insbesondere die Verbindung von Elektrode und Elektrolyt gilt als problematisch.

„In einer Batterie lagern sich beständig die transportierten Ionen in der Elektrode ein oder gehen von der Elektrode auf den Elektrolyten über – eine Batterie funktioniert nun einmal so“, erklärt Dr. Frank Tietz

vom Jülicher Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK-1). „Dieses ständige Wachsen und Schrumpfen der Elektroden tolerieren Feststoffe deutlich schlechter als ein flüssiger Elektrolyt, der immer einen guten Kontakt gewährleistet“. Der Jülicher Chemiker arbeitet seit Jahren daran, neue Materialien für Festkörperbatterien und Brennstoffzellen zu erschließen.

Bei den Festkörperbatterien steht die Forschung noch am Anfang. Reine Festkörperbatterien halten in der Regel nur einige wenige Ladezyklen durch, insbesondere ohne externen Druck. Dann beginnen die einzelnen Partikel oder Schichten sich voneinander lösen, was einem Totschaden der Batterie gleichkommt. Die Jülicher Forscher haben nun eine Lösung für dieses Problem gefunden. Sie belebten dazu eine Technik wieder, die noch aus der Brennstoffzellenforschung in den 1990er Jahren stammt. Um eine gute zwischenkeramische Kontaktierung zu erreichen, lösten sie die Bestandteile der Kathode in einer Flüssigkeit und brachten sie so in flüssiger Form in den keramischen Elektrolyten ein, wo sie im weiteren Produktionsprozess zur Elektrode umgewandelt wird. „Das Verfahren ist aus mehreren Gründen vorteilhaft: Der Elektrolyt wird nicht nur oberflächlich beschichtet. Die Flüssigkeit dringt stattdessen weit in das poröse Material ein und lagert sich in dünnen Schichten an den Porenwänden an. So entsteht eine große Kontaktfläche und die restliche Porosität wirkt wie ein Puffer, indem sie hilft, Volumenschwankungen beim Laden und Entladen auf eine große Fläche zu verteilen“, erläutert Frank Tietz. Nicht verschwiegen werden sollte aber auch: „Die Synthese erfolgt bei über 700 Grad und die Methode ist insofern ungewöhnlich, weil die Herstellung des Kathodenmaterials von



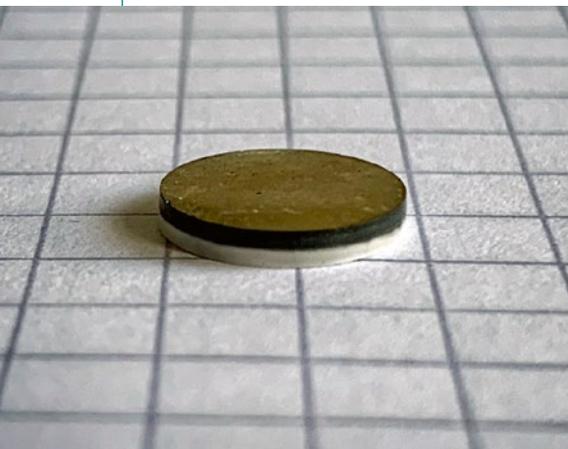
**Bild 2** Elektronenmikroskopische Aufnahme der mittels Infiltration hergestellten Kathode. Das eingetragene Elektrodenmaterial (NVP, dunkel) hebt sich klar vom porösen Elektrolyten (NZSP, hell) ab. (© Forschungszentrum Jülich / D. Grüner, T. Lan)

einem Pulverlieferanten in die Zellenherstellung verlagert wird“, so Tietz.

Für die Umsetzung wählten die Forscher eine Batterie auf der Basis von Natrium. Die möglichen Energiedichten liegen zwar klar unter denen von Lithium-Festkörperbatterien. Dafür besitzt Natrium andere Vorzüge: es ist leicht verfügbar und kostengünstiger als Lithium und ist damit für stationäre Anwendungen interessant, etwa als Zwischenspeicher für erneuerbare Energien.

*Kontakt:*

Institut für Energie- und Klimaforschung,  
Werkstoffsynthese und Herstellungsverfahren (IEK-1), Forschungszentrum Jülich,  
Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich,  
[www.fz-juelich.de](http://www.fz-juelich.de)



**Bild 1** Natrium-Feststoffbatterie  
(© Forschungszentrum Jülich / T. Lan)

# Der Visionär und sein Werk

Friedmar Kerbe<sup>1</sup>

Nach 35 Jahren geht Wilhelm Siemen, Gründungsdirektor des Porzellanikons – Staatliches Museum für Porzellan – in den Ruhestand. Zur feierlichen Verabschiedung am 9. Oktober 2019 würdigten Vertreter von Politik und Gesellschaft sein Lebenswerk.

Zur feierlichen Verabschiedung von Wilhelm Siemen in Selb-Plößberg waren einige prominente Gäste anwesend, darunter der Bayerische Staatsminister für Wissenschaft und Kunst Bernd Sibler, die Regierungspräsidentin von Oberfranken Heidrun Piwernetz sowie der Landrat des Landkreises Wunsiedel Dr. Karl Döhler. Die Erfolgsgeschichte von Siemen gipfelte in Europas größtem Spezialmuseum für Porzellan, geschaffen aus dem Nichts, jedoch mit Kreativität, visionärem Geist und Beharrlichkeit aus einer Nebenstelle des Fichtelgebirgsmuseums in Wunsiedel. Diese wurde ab 1984 kontinuierlich zu einer Institution entwickelt, die 2014 vom Freistaat Bayern zum Staatlichen Museum erklärt wurde. An seinen beiden Standorten Hohenberg an der Eger und Selb-Plößberg verfügt das Museum derzeit über eine Ausstellungsfläche von insgesamt 10.000 m<sup>2</sup> und beherbergt eine europaweit einzigartige Sammlung von rund 24.000 Objekten. Im Zuge dieser enormen Aufbauleistung war 1988 mit dem Ankauf der 1969 stillgelegten

Porzellanfabrik „Rosenthal – Bahnhof Selb“ ein entscheidender Meilenstein für die Darstellung des gesamten Fabrikationsprozesses von Porzellan bis hin zur Applikation von High-Tech-Keramiken gesetzt. Im alten Brennhaus wird zudem mit dem Rosenthal-Museum ein beeindruckender Überblick zur Firmen- und Design-Geschichte von Rosenthal geboten.

Als „staatliches Vorzeigemuseum in Oberfranken mit internationaler Strahlkraft“ hat sich das Porzellanikon unter Siemen mit wechselnden Sonderausstellungen zu ausgewählten Themen einen Namen gemacht. Mit der Großausstellung „Königstraum und Massenware“ im Jahre 2010 mit Exponaten von über 100 Leihgebern aus mehr als 20 Ländern wurde zum Jubiläum des europäischen Porzellans eine Resonanz erzeugt, die ihresgleichen sucht: 100.000 Besucher waren die Bilanz! Besonders hervorzuheben ist die Schaffung eines Zentralarchivs der deutschen Porzellanindustrie, eines der ersten Branchenarchive überhaupt.



**Bild 2** Am 9. Oktober wurde Wilhelm Siemen, Gründungsdirektor des Porzellanikons, in den Ruhestand verabschiedet. (© jahreiss. kommunikation foto film, Hohenberg a. d. Eger/ Porzellanikon)

Eine besondere Ehre und als emotionaler Höhepunkt des Festakts wurde dem scheidenden Museumsdirektor durch die Verleihung der Goldenen Bürgermedaille der Stadt Selb durch Oberbürgermeister Ulrich Pöttsch und den Eintrag in das Goldene Buch der Stadt zuteil. In seiner berührenden Dankesrede betonte Siemen, dass der Aufbau des Porzellanikons und Ausbau zu einem staatlichen Museum von internationaler Ausstrahlung maßgeblich durch das Miteinander der Menschen vor Ort ermöglicht worden sei, von lokalen Vereinen und Vereinigungen bis zu gesellschaftlichen und politischen Kräften in der Region. Aber auch internationale Kooperationsprojekte sowie eine gezielte Einbindung der Porzellanbranche und des Bildungsbereichs von den Schulen bis hin zum universitären Bereich waren wesentliche Grundlagen für den Aufbau des Hauses – so, wie es sich heute präsentiert.

Im Brennhaus rund um den alten Rundofen des Rosenthal-Museums fand in anregender Atmosphäre ein denkwürdiger Festtag seinen Ausklang. ◀



**Bild 1** Als Höhepunkt des Festakts erhielt Wilhelm Siemen die Goldene Bürgermedaille der Stadt Selb (© Timo Nachbar/ Porzellanikon)

<sup>1</sup> Friedmar Kerbe ist Korrespondent der keramischen Zeitschriften und Mitglied des Redaktionskomitees.

# 100 Jahre Deutsche Keramische Gesellschaft (1919-2019)

Friedmar Kerbe<sup>1</sup>, Dr. Detlev Nicklas<sup>2</sup>

Am 29. September 2019 beging die Deutsche Keramische Gesellschaft (DKG) im Dresdener Hotel „Bellevue“ mit einem Festakt ihr 100-jähriges Gründungsjubiläum. Ort und Zeitpunkt waren bewusst gewählt: Im September 1920 fand in Dresden im damaligen Hotel „Bellevue“ am Theaterplatz die erste DKG-Hauptversammlung der 1919 in Berlin gegründeten Gesellschaft statt.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts war es ein wissenschaftliches und wirtschaftliches Erfordernis in Deutschland, die keramischen Industrien wissenschaftlich-technisch zu durchdringen und damit ein verfügbares Potenzial für die Industrie zu schaffen. Diese Rolle übernahm zunächst die „Technisch-wissenschaftliche Abteilung“, die im Verband keramischer Gewerke in Deutschland am 13. Juni 1913 in Charlottenburg gegründet wurde. Ihr Auftrag: „Wissenschaftliche Förderung der Keramik und vor allem Bindeglied zwischen Theorie und Praxis, zwischen Forschern und Fabrikanten zu sein.“

Die wirtschaftlichen und politischen Verhältnisse nach dem ersten Weltkrieg erforderten eine umfassende Neuorganisation, der man mit Gründung der DKG am 29. September 1919 gerecht werden wollte. Damit wurde das Lebenswerk von Herrn Prof. Dr. Hermann A. Seger fortgesetzt, der



**Bild 1** Vorstand und Geschäftsführung mit den geehrten Persönlichkeiten und Festrednern  
 1. Reihe vorn v.l.n.r.: Dr. Andreas Rendtel (Vorstand), Dr. Michael Rozumek (Vorstand), Joachim Heym (Riekering, Vorstand), Friedmar Kerbe (DKG-Ehrenmitglied, Festredner), Prof. Dr. Christos G. Aneziris (Vorstand)  
 2. Reihe hinten v.l.n.r.: Dr. Detlev Nicklas (Geschäftsführer), Prof. Dr. Ralf Diedel (Vorstand), Prof. Dr. Ingolf Voigt (Vorstand), Dr. Moritz von Witzleben (Vorstand), PD Dr. Guido Falk (Vorstand), Stephan Schmidt (Vorstand), Prof. Dr. Peter Greil (Festredner) © Jürgen Lösel, Dresden

im 19. Jahrhundert als ein Begründer der wissenschaftlichen Silicattechnologie und

Pionier der Materialforschung und -prüfung nichtmetallischer Werkstoffe die Grundlage geschaffen hatte. Mit der Etablierung der DKG beschränkt man praktizierte Pfade, die mit der Gründung von keramischen Gesellschaften in Japan, den USA und in Großbritannien bereits vorgezeichnet waren.

Nachdem am 21. Januar 1920 in einer Vorstandssitzung des Verbandes keramischer Gewerke in Deutschland Zustimmung zum Satzungsentwurf und zum Beschluss der Gründung der DKG gegeben worden waren, stand damit auch in Deutschland der Herausbildung einer keramischen Gesellschaft nichts mehr im Wege.

Unter der Gesamtleitung des stellvertretenden DKG-Präsidenten, Herrn Prof. Dr. Christos G. Aneziris, TU Bergakademie Freiberg, wurden an die Festversammlung herzliche Grußworte gerichtet: seitens des

## Friedmar Kerbe erhält Ehrenmitgliedschaft

Friedmar Kerbe, langjähriges Mitglied des Redaktionskomitees und Korrespondent dieser Zeitschrift, wurde am 29. September mit der Ehrenmitgliedschaft der DKG ausgezeichnet. Damit zeichnet die Gesellschaft Persönlichkeiten aus, die sich in einem besonderen Maß um die Gesellschaft und Keramik verdient gemacht haben. In 100 Jahren sind bisher erst 26 DKG-Mitglieder mit dieser außergewöhnlichen Mitgliedschaft ausgezeichnet worden.

Die Redaktion gratuliert Herrn Kerbe herzlich zu dieser besonderen Ehrung und bedankt sich für die langen Jahre bester Zusammenarbeit.



**Bild 2** Ehrung DKG-Ehrenmitgliedschaft v.l.n.r. Herr Prof. Dr. Christos G. Aneziris (stellv. DKG-Präsident), Herr Friedmar Kerbe (DKG-Ehrenmitgliedschaft), Herr Dr. Detlev Nicklas (DKG-Geschäftsführer) © Jürgen Lösel, Dresden



**Bild 3:** Herr Kerbe zeigte in seinem Festvortrag die Entwicklung der Deutschen Keramischen Gesellschaft über den Zeitraum eines gesamten Jahrhunderts mit ihren Höhen und Tiefen auf. Dazu veröffentlicht die DKG nun auch erstmalig eine Chronik [1]. (© Jürgen Lösel, Dresden)

Oberbürgermeisters der Stadt Dresden, Herrn Dirk Hilbert, der Geschäftsführerin der Porzellanfabrik Hermsdorf GmbH, Frau Dipl.-Ing. Sybille Kaiser, in ihrer Funktion als Präsidentin des Bundesverbandes der Keramischen Industrie e.V. (BVKI) und des stellvertretenden Geschäftsführers der Messe München, Herrn Gerhard Gerritzen.

Dem Blick auf 100 Jahre DKG zurück folgte der wissenschaftliche Ausblick in die nahe Zukunft: Herr Prof. Dr. Peter Greil, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, umriss - abgeleitet von den sich weltweit abzeichnenden Megatrends in der Entwicklung der menschlichen Gesellschaft - die Rolle der Keramik innerhalb zukünftiger technologischer Entwicklungen.

Mit einem Stehempfang in gastlichem Ambiente klang das erste Jahrhundert der DKG im Atrium des Hotel Bellevue, Dresden, würdevoll aus. ◀

### Literaturhinweis:

Die DKG-Chronik steht zum kostenfreien Download auf [www.dkg-chronik.dkg.de](http://www.dkg-chronik.dkg.de) zur Verfügung und kann dort auch als Printexemplar bestellt werden.

1. Friedmar Kerbe ist Korrespondent der keramischen Zeitschriften und Mitglied des Redaktionskomitees.
2. Dr. Detlev Nicklas ist Geschäftsführer der Deutschen Keramischen Gesellschaft.



Plug & Spray

Easy cleaning

Small footprint

High flexibility

# SMART Lab Atomizer



MADE IN GERMANY

DORST Technologies GmbH & Co. KG  
Mittenwalder Straße 61 / 82431 Kochel am See  
Fon +49 8851 188-0 / info@DORST.de / [www.DORST.de](http://www.DORST.de)

# Internationale Konferenz REFRA PRAGUE 2019

Frantisek Tomšů<sup>1</sup> und Štefan Palčo<sup>1</sup>

Die Tschechische Silikatgesellschaft veranstaltete vom 24. bis 26. April 2019 die Internationale Konferenz über feuerfeste Werkstoffe REFRA PRAGUE 2019. An der Konferenz nahmen 100 Fachleute aus 10 Ländern teil. Das Fachprogramm umfasste 24 Vorträge, die in diesem Beitrag vorgestellt werden. Bei den Vorträgen, die in Zusammenarbeit mehrerer Autoren entstanden sind, wird hier nur der Vortragende genannt.

## Entwicklung feuerfester Erzeugnisse

P. Šajgalík, Slowakei, präsentierte die Ergebnisse von Untersuchungen zur Korrosionsbeständigkeit von vier verschiedenen polykristallinen Materialien ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ , SiALON und Aluminiumoxid mit und ohne Sinterungsadditive) gegen Eisenschmelze bei 1600 °C. Siliziumnitrid reagierte sehr schnell mit geschmolzenem Eisen, während SiALON eine höhere Korrosionsbeständigkeit aufwies. Die bessere Korrosionsbeständigkeit von SiALON wurde durch die Bildung einer Schutzschicht aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  im Anfangsstadium des Korrosionstests verursacht. Die Probe aus Korund ohne Sinterungsadditive zeigte die beste Korrosionsbeständigkeit aller untersuchten Materialien.

L. Ďurik, Slowakei, referierte über die Entwicklung von  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -MA-Feuerbetonen für die Stahlgießpfannen. Ziel war die Entwicklung eines neuen Feuerbetons für die Verschleißschicht der Zustellung von Pfannen (Boden und Wand) mit erhöhten Qualitätsparametern im Vergleich zu dem derzeit eingesetzten Material (zementarmer Feuerbeton ZN1750SP). Der entwickelte Feuerbeton wurde auf Basis der Tabulartonerde mit MA-Spinell-Zusatz und mit Calcium-Magnesium-Aluminat-Zement-Bindung (CMA) hergestellt. Die verbesserten Eigenschaften des neu entwickelten Feuerbetons wurden durch modifizierte Korngrößenzusammensetzung, Verringerung des Wasserzusatzes und durch Verwendung von nicht spezifiziertem reaktivem Aluminiumoxid und einem Verfestigungsadditiv erreicht.

F. Simonin, Frankreich, referierte über die Additive für die Technologie der LC-Feuerbetone. Der Einsatz der von dem Unternehmen Imerys Aluminates entwickelten Additive in Feuerbetongemengen ermöglicht die Erhöhung der Qualität monolithischer Zustellungen und eine optimale Anpassung an die Bedingungen beim Einsatz.

C. Wöhrmeyer, Frankreich, gab eine Übersicht über die Anwendung von Kalzium-Magnesium Aluminaten (CMA) in feuerfesten Steinen und in monolithischen Werkstoffen. Das Produkt kann in Steinen für Stahlgießpfannen verwendet werden, z.B.  $\text{MgO-C}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-C}$ ,  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ ,  $\text{MgO-CaO-C}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgAl}_2\text{O}_4$ , sowie in feuerfesten Produkten wie Monoblockstopfen oder Tauchrohren für das Stranggießen von Stahl. Bei Magnesia-Spinell-Steinen für Zement-Drehrohröfen kann ein Zusatz von CMA die thermoelastischen/plastischen Eigenschaften und die Belagsbildung auf der Steinoberfläche verbessern, die die Zustellung vor starker Abnutzung schützt. CMA-Aggregate wurden auch erfolgreich in Trockengemengen für Gießereianwendungen sowie in  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -MA-Trockenspritzgemengen für Pfannenreparaturen eingesetzt.

E. Bartoničková, Tschechische Republik, präsentierte im Schaumgussverfahren hergestellte leichte Feuerfestmaterialien. Es wurden Gießmassen mit kontrollierter Porosität auf der Basis von aufgeschlammtem Kaolin charakterisiert. Das optimale Herstellungsverfahren, Trocknungs- und Sinterverfahren wurde untersucht. Es wurden Proben für mögliche Anwendungen in feuerfesten Auskleidungen mit ausreichender Volu-

menstabilität, Porosität, Wärmeleitfähigkeit und mechanischen Eigenschaften getestet. Neben der Untersuchung mechanischer Eigenschaften wurden sie auch mittels Hochtemperatur-Röntgenbeugung und Rasterelektronenmikroskopie untersucht.

M. Mika, Tschechische Republik, verwies auf die Vorteile des Elektrosplinnens gegenüber dem mechanischen Verspinnen von Schmelze bei der Herstellung von Mikrofasern. Das mechanische Spinnen aus der Schmelze wird zur Herstellung von  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Fasern verwendet, aber eine massive Kristallisation verringert die Festigkeit und Zähigkeit erheblich, was deren Qualität beeinträchtigt. Durch Elektrosplinnen können flexible Nano-Mikrofasern mit ausreichender Festigkeit hergestellt werden. In dieser Arbeit werden zwei Arten von Nanofasern behandelt: eine mit 82 Masse-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und 18 Masse-%  $\text{SiO}_2$ ; und die andere aus 100 Masse-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Die Fasern wurden aus einem Ausgangsgemisch von Böhmit gezogen, das in einer Polyvinylpyrrolidonlösung in Ethanol dispergiert war. Nach dem Kalzinieren bei 300 und 600 °C und anschließendem Brennen bei 1500 °C wurden Fasern mit Radien von 400 bis 500 nm produziert. Die ersten Ergebnisse deuteten darauf hin, dass durch Elektrosplinnen Aluminiumoxidfasern mit ausreichender Festigkeit und Flexibilität hergestellt werden können.

## Feuerfeste Filtermaterialien für die Reinstahltechnologie

C.G. Aneziris, Deutschland, gab eine Übersicht über die neuesten Forschungsergeb-

nisse auf dem Gebiet der Erforschung der Reinstahltechnologie durch feuerfestes Filtermaterial. Exzellent funktionierende Filtersysteme erfüllen zwei Grundfunktionen: a) Entfernung von Verunreinigungen im Millimeter-, Mikron- und Submikronbereich und b) Förderung einer turbulenten Schmelzefüllung der Form. Im Rahmen dieser Präsentation wurde der Beitrag verschiedener in situ gebildeter Schichten in Abhängigkeit von ihrer Chemie, Porosität, Wechselwirkungszeit mit der Stahlschmelze und der Art der Behandlung des Stahls auch bei funktionellen Oberflächenfilterbeschichtungen demonstriert und diskutiert. Es wurden theoretische Modelle vorgeschlagen, die die experimentellen Ergebnisse in einem speziellen Stahlgussimulator sowie beim kontinuierlichen Stahlguss bestätigen.

J. Hubálková, Deutschland, beschrieb kohlenstoffgebundene durch Zentrifugieren hergestellte Korundschaumfilter als einen Weg zur Verbesserung der Homogenität. Das beschriebene Verfahren wurde analysiert und mit dem Stand der Technik verglichen. Das Ziel der Studie war es, die mittels Zentrifugierungstechnik hergestellten  $Al_2O_3$ -C-Filter geometrisch zu charakterisieren. Die dreidimensionale Materialverteilung nach jedem Verarbeitungsschritt wurde mittels Computertomographie (CT) ausgewertet. Aufgrund der CT-Daten konnte der Schluss gezogen werden, dass die zentrifugierten Filter aufgrund des höheren Automatisierungsgrades des Prozesses eine homogenere Materialverteilung aufweisen. Darüber hinaus wurde eine qualitative Oberflächenbewertung unter Verwendung eines digitalen (optischen) Mikroskops durchgeführt, wobei die Unterschiede jeder Verarbeitungsroutine hervorgehoben wurden.

A. Herdering, Deutschland, hat eine Machbarkeitsstudie zur Herstellung additiv gefertigter Polymerschäume zur Herstellung funktional beschichteter kohlenstoffgebundener Aluminaschaumfilter vorgelegt. Ziel der Studie war es, die Replikatechnik auf Schablonen aus Polyamid 12 (PA12), thermoplastischem Polyurethan (TPU) und Polymilchsäure (PLA) mittels Lasersintern oder Herstellung von verschmolzenen Filamenten anzuwenden. Die bedruckten Polymerschäume wurden in der Replikations-



**Bild 1** Die Konferenz beinhaltete auch ein Rahmenprogramm mit einer Bootsfahrt auf der Moldau unter den Prager Brücken und durch die Schleusen. (© Prague City Tourism)

route mit  $Al_2O_3$ -C-Aufschlammung verwendet und in zwei Gruppen unterteilt, die in verschiedenen Aufheizregimen pyrolysiert wurden. Die Untersuchungen zeigen einen Weg, kundenspezifische  $Al_2O_3$ -C-Schaumfilter für die Metallschmelzfiltration herzustellen, die im Metallschmelzgussverfahren einsetzbar scheinen.

O. Jankovský, Tschechische Republik, beschrieb einen neuen nano-funktionalen  $Al_2O_3$ -Schaumfilter mit 1D und 2D kohlenstoffbasierten Nanomaterialien. Die Beschichtung auf Nanobasis wurde im Kontakt mit geschmolzenem Stahl untersucht. Temperatur- und zeitabhängige Experimente wurden in einem Heißtischmikroskop durchgeführt, um das Benetzungsverhalten zu analysieren. Die endgültige Mikrostruktur wurde durch Rasterelektronenmikroskopie untersucht. Die Ergebnisse legen nahe, dass diese Beschichtungen nützlich sein könnten, um den Reinigungsprozess von Stahlschmelzen durch Filtration in der Stahlindustrie zu verbessern.

### Neue und innovative feuerfeste Werkstoffe und ihre Eigenschaften

D. Galusek, Slowakei, befasste sich mit der Hochtemperaturkorrosion und Oxidation

moderner Keramik- und Glaskeramikkomposite. Die Forschungsaktivitäten in diesem Bereich umfassten:

- ▶ Korrosionsbeständigkeit von Keramiken auf Siliziumnitrid-, Sialon- und Aluminiumoxidbasis unter subkritischen Bedingungen
  - ▶ Korrosionsmechanismen von feuerfesten Materialien aus Aluminium-Zirkon-Silikat (AZS) in glasbildenden Schmelzen unter besonderer Berücksichtigung von Bariumkristallglas
  - ▶ Korrosions- und Oxidationsbeständigkeit von aus Polymer abgeleiteten Glaskeramikbeschichtungen mit passiven Glas- und Keramikfüllstoffen als Umweltsperbeschichtungen für Edelstahlprodukte für Temperaturen bis 1000 °C.
- P. Škarabela, Tschechische Republik, berichtete über hochwertige Isolierungen für Rohrleitungen und andere technologische Einrichtungen vor allem für die chemische und petrochemische Industrie aus mikroporösen Produkten des Unternehmens Promat: starre und flexible Fertigteile, Platten, Matten, bearbeitete und geformte Produkte und mikroporöses Granulat. Mikroporöse Isolationsmaterialien mit überlegenen Wärmedämmeigenschaften ermöglichen das Erreichen extrem niedriger Wärmeverluste. Von Promat entwickelte Lösungen können



**Bild 2** Von links nach rechts: Lenka Sedmidubská (Ministerium für Industrie und Handel), Prof. David Sedmidubský (UCT Prag), Christian Kazmírovský (Rath), Dominika Jankovská (Tschechische Keramikgesellschaft), Assoc. Prof. Ondřej Jankovský (UCT Prag / Tschechische Keramikgesellschaft), Dr. Jana Hubalková (TU Bergakademie Freiberg), Dr. Michal Pribyl (Promat / Tschechische Keramikgesellschaft), Prof. Christos G. Aneziris (TU Bergakademie Freiberg) © Czech Ceramic Society/ Tschechische Keramikgesellschaft

oftmals „dünner und leichter“ sein, was zur weiteren Optimierung vorhandener Technologien oder Prozesse beiträgt. Einige der Lösungen und Vorteile werden kurz beschrieben.

K. Lang, Tschechische Republik, präsentierte die Ergebnisse experimenteller Arbeiten, Erfahrungen und Risiken im Zusammenhang mit der Herstellung neu entwickelter Feuerfestaggregate in der Firma P-D Refractories CZ. Im Hinblick auf die Entwicklung neuer feuerfester Körnungen konzentrierten sich die Experimente auf Materialien im Bereich des Gehalts von 45 bis 75 Masse-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Das Material mit 45 Masse-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ist in Bezug auf Qualität und Preis zu bevorzugen und beweist sein Potenzial in der Feuerfestindustrie. Gegenwärtig werden die Anwendungen dieser Materialien in geformten Produkten und feuerfesten Gussstücken verifiziert.

P. Vadász, Slowakei, befasste sich mit der Korrosionsbeständigkeit hochtonerdehaltiger Feuerbetone durch geschmolzene Calciumschlacke. Statische Korrosionstests wurden in Tiegel aus LC-Feuerbeton (90 Masse-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 1,2 Masse-% CaO) und ULC-Feuerbeton (93 Masse-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) mit einer realen CaO- $\text{Al}_2\text{O}_3$ -( $\text{SiO}_2$ -MgO) Schla-

cke bei 1450 °C in Luftatmosphäre durchgeführt. Die Schlacke benetzt das untersuchte Material gut, dringt in die Tiefe der Proben ein und löst die  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - und  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ -Körner auf. Der Verlauf der Korrosion wurde mit rtg- und mikroskopischen Methoden analysiert. Der ULC-Feuerbeton zeigte im Vergleich mit dem LC-Feuerbeton eine bessere Korrosionsbeständigkeit.

L. Keršnerová, Tschechische Republik, beschrieb die Ergebnisse experimenteller Arbeiten, in denen fünf experimentelle Gießmischungen mit und ohne CAC und/oder Sol- $\text{SiO}_2$  hinsichtlich ihrer rheologischen und physikalischen Eigenschaften verglichen wurden. Es zeigte sich, dass der Zusatz von Sol- $\text{SiO}_2$  die Konsistenz und die Fließfähigkeit der Zusammensetzungen negativ beeinflusst. Es wurde festgestellt, dass in Gemischen, die Sol- $\text{SiO}_2$  enthalten, mehr Flüssigkeiten zugesetzt werden müssen. Proben ohne Zement, die nur Sol- $\text{SiO}_2$  enthalten, haben eine geringere Porosität, aber auch eine geringere Grünfestigkeit. Nach dem Brennen bei 1400 °C sind Verbesserungen bei Biege- und Druckfestigkeiten zu beobachten.

N. Pávková, Tschechische Republik, beschrieb formangepasste Feuerbetonform-

steine auf SiC-Basis mit erhöhter Oxidationsbeständigkeit. Es handelt sich um Produkte mit 90 Masse-% SiC, Produkte auf Mullit-Basis mit 30 Masse-% SiC und Produkte mit Andalusit-Körnung und mit 60 Masse-% SiC. Das Unternehmen kann nach Kundenwunsch „maßgeschneiderte“ Formen in kleinen Serien herstellen. Das Produkt mit 30 Masse-% SiC hat sich in Brennkammern von Biomassekesseln bewährt, Material mit 60 Masse-% SiC arbeitet zuverlässig in Verbrennungsöfen und Material mit 90 Masse-% SiC ist vergleichbar mit fortschrittlichen Keramiken auf SiC-Basis, die durch Heißpressen oder Reaktionsintern hergestellt werden. Das größte Anwendungspotential dieses Materials sind: Feuerungsanlagen, Verbrennungsanlagen und Öfen für die thermische Bearbeitung der Metalle.

H. Peng, Norwegen, berichtete über die Ergebnisse der Explosionsbeständigkeit des mit Mikrosilicagel gebundenen zementlosen Feuerbetons mit/ohne Zusatz eines speziellen Trocknungsmittels. Die Experimente umfassten Untersuchungen zu Fließfähigkeit, Trocknungsverhalten, Explosionsbeständigkeit, TGA- und REM-Charakterisierung. Das Mikrosilicagel-Bindungssystem enthält nur geringe Mengen an gebundenem Wasser. Die Grünfestigkeit ist jedoch häufig so gering, dass gerade bei größeren Fertigteilen auch die Entfernung von freiem Wasser eine Herausforderung darstellt. Mit der Einführung des neuen Trocknungsmittels wurde die Trocknungsrate erheblich verbessert. Ein 400 kg schwerer Block wurde ohne Haltezeiten mit einer Aufheizrate von 50 °C/h von 20 auf 850 °C fehlerlos aufgeheizt.

### Neue und optimale Anwendungen von Feuerfestmaterialien

S. Dvořák, Tschechische Republik, berichtete über die Veränderung der Qualität der Silikasteine nach 20-jährigem Betrieb in der aufgeheizten Wand einer Koksöfenbatterie. Von der Seite der Koksammer wurde nur eine kleine Penetration der Fremdoxide von Kohle/Koks in die Zustellung festgestellt, was der dichten Struktur der Silikasteine zugeschrieben wird. Durch die Sinterung

und Schwindung kommt es zur Erhöhung der geschlossenen Porosität ohne Änderung der Gesamtporosität. Es wurde auch die Vergrößerung der Poren von der Aufheizseite beobachtet. Es kommt auch zur Änderung der Phasenzusammensetzung zu Tridymit zum Nachteil der Cristobalithphase, die nicht voll in der thermischen Ausdehnung ausgedrückt wird.

T. Štícha, Tschechische Republik, ging auf die Auswirkungen möglicher Korrosions-substanzen und technologischer Einflüsse auf die Feuerfestauskleidung der Müllverbrennungsanlagen für den Ascheschmelzbetrieb ein. Die Präsentation konzentrierte sich auf den Einfluss verschiedener dokumentierter Aschetypen auf die Korrosion der Auskleidung. Ein einfacher Test zeigte, dass in den Öfen bei Temperaturen über ca. 1100 °C unbrennbare Rückstände in Form von Schmelze auftreten können, bei denen es zur sogenannten Schmelzkorrosion von Auskleidungen kommen kann. Basierend auf mehreren Korrosionstests und langfristigen Betriebsanwendungen befasst sich der Beitrag mit der Auswahl und Optimierung von monolithischen Auskleidungen. Lebensdauer, technologische und wirtschaftliche Aspekte werden berücksichtigt. Die Autoren geben spezielle Installationsbeispiele und deren detaillierte Auswertung. Ein neu entwickeltes monolithisches Material, das in die Brennzonen eines Drehrohr-Ofens eingebaut wurde, lieferte unter betrieblichen, technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten zufriedenstellende Ergebnisse.

P. Kovář, Tschechische Republik, erörterte die Anforderungen an feuerfeste Materialien für die Verbrennung von Biomasse. Im Vergleich zu Kohle, die einen stabilen Verbrennungsprozess gewährleistet, hat Biomasse einen signifikant höheren Einfluss auf die Korrosion der Feuerfestmaterialien, hauptsächlich auf den alkalischen Angriff und die Korrosion und den Abrieb durch Asche mit niedrigem Schmelzpunkt und hohem Korrosionspotential. Es wurden vier Sorten feuerfester Werkstoffe vom Gesichtspunkt der Korrosionsbeständigkeit verglichen:

- ▶ hochtonerdehaltige Steine auf Andalusitbasis (60 Masse-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

- ▶ Korundsteine (98 Masse-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- ▶ hochtonerdehaltige Steine mit 10 Masse-% SiC und
- ▶ 75 Masse-% SiC-Gießmasse.

Andalusitsteine zeigten die geringste Alkali-Penetration (Test bei 1000 °C) und die beste Schlackenbeständigkeit (Tiegeltest bei 1400 °C). Materialien mit SiC reagierten bereits bei 1200 °C mit der Schlacke.

## Ingenieurwesen, Technik und Ausrüstung

H. Jansen, Deutschland, informierte über eine neue Methode für das Hochleistungstrockenspritzen, die speziell für den Einbau von zementfreien, sol-gel-gebundenen feuerfesten Spritzbetonsorten entwickelt wurde. Das der Spritzmaschine zugeführte Trockengemisch enthält weder Bindemittel noch andere chemisch reaktive Bestandteile und besteht daher ausschließlich aus feuerfesten Zuschlagstoffen. Die Spritzeinheit befindet sich direkt hinter der Spritzmaschine. Das vorbenetzte und nun aktivierte Trockenmaterial und das flüssige Bindemittel (z.B. Kieselöl) werden am Ende des Förderschlauchs durch handelsübliche Düsensysteme dosiert. Die Vorbefeuchtung des Betons erleichtert die endgültige Homogenisierung und führt zu niedrigeren Rückprallwerten und deutlich geringeren Staubbelastungen an der Sprühdüse. Die Kaltdruck- und die Biegefestigkeit des installierten Monoliths wird erhöht und die Porosität verringert.

R. Novotný, Tschechische Republik, diskutierte die Möglichkeiten der Abtrennung der Eisenoxide aus Flugasche aus dem Verbrennungsprozess von Kohlenstaub durch ein Magnetfeld. Das Material ist aufgrund seiner Zusammensetzung ein potentieller Rohstoff für Feuerfestanwendungen. Trotzdem ist die tatsächliche industrielle Anwendung aufgrund der hohen Eisenkonzentration stark eingeschränkt. Eisen liegt in der Flugasche als Form von agglomerierten Partikeln vor, die sich durch ein Magnetfeld abtrennen lassen. Ein abgetrennter magnetischer Teil enthält typische kugelförmige Körner mit einer engen Korngrößenverteilung. Bei der verarbeiteten Flugasche ist die Eisenkonzentration deutlich geringer. Aufgrund des geringeren Eisengehalts könnte

der Gehalt an Flugasche bei Feuerfestanwendungen erhöht werden.

G. Seifert, Deutschland, beschrieb die Untersuchungen zur Optimierung der Energieeffizienz von Hochtemperaturprozessen durch Simulierung der Prozesse auf Basis von Experimenten. Die Technik basiert auf präzisen In-situ-Messungen des spezifischen Materialverhaltens (Gewichtsänderung, Schwindung usw.) während der thermischen Verarbeitung in speziellen Laboröfen, den sogenannten ThermoOptical Measuring (TOM)-Geräten. Die TOM-Geräte können die Bedingungen (insbesondere die Atmosphäre) verschiedener Industrieöfen reproduzieren. Die Daten werden in parametrisierter Form in einem auf Kontinuumsmechanik basierenden Finite-Elemente-Modell verwendet, das das Materialverhalten als Funktion des Temperatur-Zeit-Zyklus einschließlich der Einschätzung des Risikos eines Materialversagens vorhersagen kann. Mit diesem Ansatz können am Computer optimierte Brennkurven erstellt und zurück auf den Produktionsofen übertragen werden.

J. Mendheim, Deutschland, stellte den neuen Temperofen bei Slovmag in Lubenik (Slowakei) vor, der für die Wärmebehandlung von kohlenstoffgebundenen Magnesiakohlenstoff-Steinen verwendet wird. Der Ofen hat eine Nennkapazität von 20.000 t/a und kann bei Temperaturen bis zu 350 °C betrieben werden. Der Ofen wird indirekt von drei Wärmetauschern beheizt. Einer von ihnen verfügt über eine integrierte Verbrennungsanlage, so dass die Wärme zur Beheizung des Ofens genutzt wird. Im Ofen werden verdampfte gefährliche polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe und andere schädliche flüchtige Stoffe verbrannt. Die Gase, die die Verbrennungsanlage verlassen, erfüllen alle europäischen Vorschriften für die Emissionsgrenzwerte.

Teil der Konferenz war auch ein Rahmenprogramm mit einer Bootsfahrt auf der Moldau unter den Prager Brücken und durch die Schleusen, verbunden mit einem Bankett und einem Gesellschaftsabend am Tagungsort. ◀

1 Frantisek Tomšů und Štefan Palčo verfügen über langjährige Erfahrung in der Feuerfestindustrie und sind als Berater im Feuerfestsektor tätig.

# 94. DKG-Jahrestagung & Symposium Hochleistungskeramik – Teil 2: Vortragssessions

Friedmar Kerbe<sup>1</sup>

Während im Teil 1 des Berichts zur D-A-CH-Keramiktagung eine Übersicht zu Plenarvorträgen, der Postersession und dem Hans-Walter-Hennicke-Vortragswettbewerb sowie Ehrungen gegeben wurde, werden nachfolgend zu ausgewählten Fachsessions Einzelvorträge inhaltlich vorgestellt.

## Keramik für Elektronik und Mobilität

G. Engel, Ceracap Engel KG, Leibnitz/AT, strebt eine synergetische Nutzung antiferroelektrischer Keramikwerkstoffe für Geräte in Mehrschicht-Ausführung für verschiedene Applikationen an. Das betrifft einen DC-Kondensator für die Leistungselektronik bei hoher Energiedichte und Effizienz in miniaturisierter Systemgröße. Auf gleicher Werkstoffbasis wird ein elektrokalischer Energiekonverter hinsichtlich technologischer Realisierbarkeit, elektrischer Leistungsparameter und Kosten bewertet. Die neuen keramischen PLZT-basierten Antiferroelektrika sind kompatibel mit Cu-Innenelektroden für das Sintern in reduzierender Atmosphäre.

T. Schneller, RWTH Aachen, nutzt keramische Dünnschichten, basierend auf Y-dotier-

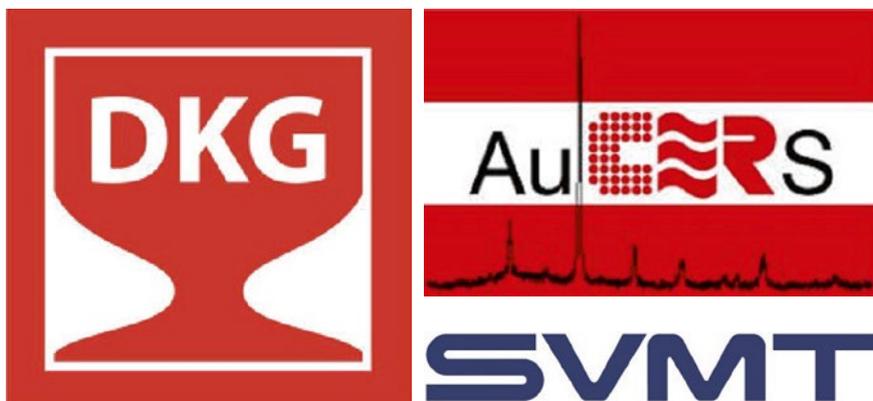
ten Übergangsmetalloxiden der 4. Gruppe, die mittels Tintenstrahldruck eine Precursor-Lösung erzeugen und unter anderem zur Energiekonversion verwendet werden. Gezeigt wird das an protonenleitenden Y-dotierten BaZrO<sub>3</sub>-Dünnschicht-Membranen für Mikro-SOFC und an bleifreien Ferroelektrika auf Y-dotierter HfO<sub>2</sub>-Basis.

Von L. Kodumudi Venkataraman, TU Darmstadt, werden die thermische Stabilität und Rolle der Defektchemie vergleichend in abgeschreckten beziehungsweise in Zn-dotierten bleifreien Na-Bi-Titanat – Ba-Titanat- Piezokeramiken (NBT – BT) untersucht. Das betrifft unter Nutzung der Impedanz-Spektroskopie die temperatur- und frequenzabhängige Permittivität, die Temperaturabhängigkeit des Piezoeffizienten und die elektromechanische Hysteresis.

Unter Einbeziehung des Einflusses des Temperns an Luft und in O<sub>2</sub>-Atmosphäre wird das Potenzial zur Verbesserung der thermischen Stabilität bis auf 200 °C aufgezeigt.

Nach S. Fröhlich, E.-A. Hochschule Jena, haben (K,Na)NbO<sub>3</sub>-basierte Piezokeramiken als Alternative zu bleibasierten ein Potenzial für Multilayer-Aktoren. Im Unterschied zur Sinterung an Luft wird unter geringem O<sub>2</sub>-Partialdruck ein Co-firing mit Unedelmetall-Elektroden bei möglichst unterdrücktem Riesenkornwachstum des KNN realisierbar. Diesbezügliche Sinterstudien an Li- und Ta-substituierten KNN wurden durchgeführt im Bereich 950-1070 °C bei O<sub>2</sub>-Partialdrücken von 10<sup>-12</sup> bis 10<sup>-6</sup> atm mit 1-8 h Haltezeit. Zur Kompensation der Sauerstoff-Vakanzen erfolgte anschließendes Tempern bei 650-850 °C über 3-12 h unter 10<sup>-9</sup> bis 10<sup>-1</sup> atm. Untersuchungen zum thermischen Zersetzungsverhalten von Cu- und Ni-Dickfilmipasten und zum Einfluss der Prozessbedingungen auf Mikrostruktur, Phasenbestand, dielektrische und elektromechanische Parameter dienen dem Ziel, Multilayer-Aktoren mit Unedelmetall-Innenelektroden ohne Oxidation der Metallisierung zu realisieren.

Das elektrische Verhalten von ZnO-Varistoren, den verbreitetsten spannungsabhängigen Widerständen in Elektrogeräten, wird signifikant durch die Mikrostruktur der Keramik bestimmt, speziell durch die Korngrenzen, was experimentelle Untersuchungen im Microscale-Bereich erfordert. So ermöglicht die IR-Thermographie die Detektierung kleiner Wärmedifferenzen im



**Bild 1** Bei der D-A-CH-Keramiktagung in Leoben führte die Österreichische Keramische Gesellschaft (Au-CerS) ihre 7. Jahrestagung und der Schweizerischer Verband für Materialwissenschaft und Technologie (SVMT) eine Keramik-Session durch.

microskaligen Bereich zur Identifizierung bevorzugter Strompfade in der Keramik. B. Kaufmann, Montanuniversität Leoben, entwickelte eine 4-Punkt-Methode zur Strom-Spannungsmessung an einem isolierten Kornpaar einer ZnO-Varistorkeramik. Dabei werden die einzelnen ZnO-Körner mit jeweils zwei sehr feinen Spitzen kontaktiert. An zwei Spitzen (Bild 2, Kanal A) wird Spannung angelegt und die Stromstärke gemessen. An den anderen beiden Spitzen (Kanal B) wird der Strom vom Messsystem auf null gehalten und die dafür notwendige Spannung ist die Potentialdifferenz der beiden Körner. Daraus ergibt sich die Strom-Spannungs-Kennlinie eines einzelnen Kornpaares, die Rückschlüsse auf den elektrischen Widerstand der Korngrenze gibt. Die Kennlinien in Bild 2 sind stark asymmetrisch je nach Stromrichtung. Die Forward- und Reverse-Richtung wurde mehrmals gemessen, um die Reproduzierbarkeit der Messungen zu demonstrieren. Die Korn-Elektrode-Kontakte verhalten sich wie Schottky-Dioden, während die entsprechenden Schottky-Barrieren von der Kornorientierung abhängen.

## Keramik für Energie- und Umwelthanwendungen

Um Festkörperbatterien mit ausgesprochen hoher Ionenleitung zu realisieren, sind die elementaren Stufen von Ionensprüngen im Werkstoff mit ultraschneller Li- und Na-Diffusion zu verstehen, um letztlich deren makroskopische Transporteigenschaften zu realisieren. Nach M. Wilkening, TU Graz, stellt man auf dem Gebiet der Sulfid-Elektrolyte hohe Erwartungen an Li-haltige Argyrodit. Mittels NMR und broadband conductivity spectroscopy wurde eine Serie von  $\text{Li}_6\text{PS}_5\text{X}$  ( $\text{X} = \text{Cl}, \text{B}, \text{I}$ ) untersucht, wobei die Ionenleitfähigkeit des  $\text{Li}_6\text{PS}_5\text{I}$  signifikant niedriger ist als die von  $\text{Li}_6\text{PS}_5\text{Cl}$  und  $\text{Li}_6\text{PS}_5\text{B}$ . In letzteren beiden Verbindungen bewirkt eine Fehlordnung auf den Anionenplätzen eine niedrigere Sprungbarriere, was letztlich zu einem sehr schnellen Ionentransport über längere Distanzen führt.

Degradationseffekte begrenzen die Lebensdauer von Festoxidzellen (SOC), für die im stationären Betrieb über 40.000 h (ca.

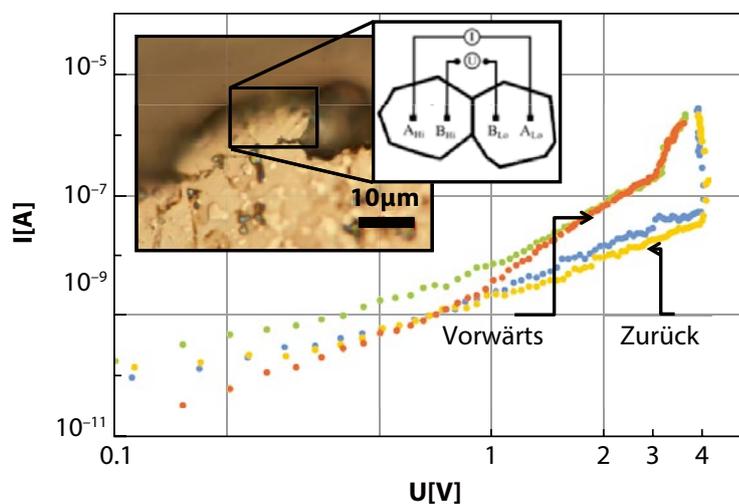


Bild 2 Mikro-4-Punkt-Methode zur Strom-Spannungs-Messung an einem isolierten Kornpaar einer ZnO-Varistorkeramik (© Kaufmann/ Uni Leoben)

5 Jahre) angestrebt werden. Speziell diffusionsbedingte Effekte können die Lebensdauer nach mehr als 15.000 h signifikant beeinflussen. Ursachenerkundungen erfordern nach N. Menzler, FZ Jülich GmbH, folglich Langzeitbelastungstests, durchgeführt an SOEC-Stacks über 20.000 h und an SOFC-Stacks über 25.000 Betriebsstunden. In beiden Fällen zeigte sich in den letzten Stunden eine erhöhte Spannungsdegradation unterschiedlicher Art, was intensive Nachuntersuchungen mittels SEM und chemischer Analyse erforderlich macht. Mischleitende Perowskite vom Typ  $(\text{La}, \text{Sr})(\text{Co}, \text{Fe})\text{O}_{3-\delta}$  fanden ein breitgefächertes Applikationsfeld als Kathoden für Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC), Anoden für Festoxid-Elektrolysezellen (SOEC), Gassensoren und Katalysatoren. Ihre Markteinführung ist jedoch limitiert durch eine unzureichende Langzeitstabilität unter anwendungsrelevanten Bedingungen.

Nach C. Berger, Montanuniversität Leoben, zeigen laufende Studien, dass eine Substitution von Sr durch Ca und Co durch Fe zu einer Verbesserung der Kinetik des Sauerstoffwechsels und zu einer Langzeitstabilität gegenüber  $\text{SO}_2$  führt. Die Verbesserungen gehen einher mit einer zunehmenden Ca-Konzentration innerhalb einer Serie von  $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{FeO}_{3-\delta}$  ( $x < 0,3$ ), so dass Verbindungen wie  $\text{La}_{0,9}\text{Ca}_{0,1}\text{FeO}_{3-\delta}$ , besonders  $\text{La}_{0,8}\text{Ca}_{0,2}\text{FeO}_{3-\delta}$  und  $\text{Pr}_{0,8}\text{Ca}_{0,2}\text{FeO}_{3-\delta}$ , als bevorzugte Kandida-

ten für eingangs erwähnte Applikationen gelten.

Derzeit werden SOFC meist in drei Einzelsinterungen gefertigt, so dass für ihre gesteigerte Marktfähigkeit ein Co-firing aller Schichten in einer Sinterstufe ( $< 1300^\circ\text{C}$ ) anzustreben ist. Nach F. Grimm, FZ Jülich GmbH, besteht diese Herausforderung darin, dass jede Schicht eine spezifische Temperaturbehandlung verlangt. Der Elektrolyt benötigt eine relativ hohe Temperatur von  $> 1300^\circ\text{C}$  zur Erreichung einer bestimmten Gasdichtheit, dagegen die Kathode eine niedrigere Sintertemperatur von  $< 1100^\circ\text{C}$ , um über eine gewisse Porosität eine genügend hohe Sauerstoffdiffusion und eine große aktive Oberfläche zu gewährleisten. In einem auf einem inerten Substrat gestützten SOFC-Konzept werden mögliche Wechselwirkungen zwischen einem Mg-Silicat-Stützsubstrat (Forsterit) und verschiedenen Kathodenmaterialien beim Co-Sintern mit dem Ziel untersucht, einen maßgeschneiderten Kathodenwerkstoff dafür zu finden.

F. Zeng, FZ Jülich GmbH, prüft  $\text{Ce}_{0,8}\text{Gd}_{0,2}\text{O}_{2-d} - \text{FeCo}_2\text{O}_4$  als Zweiphasen-Membranen (DPM) hoher chemischer Stabilität für Langzeit-Sauerstoffpermeationstests unter verschärften Abgasbedingungen. Optimierte wurde deren Herstellungsrouten über Festkörperreaktion zwecks Erzielung mikrorissfreier Membranen. Ermittelt wurden Relationen zwischen Restspannung,

mechanischen Kennwerten und Sauerstoffpermeation und der Ausbildung von Phasenbestand und Mikrostruktur.

Hochreflektierende Beschichtungen sind nach R. Janßen, TU Hamburg-Harburg, realisierbar mittels geordneter Poren in Matrices mit hohem Brechungsindex, das heißt inverse Opale erhalten Bandlücken. Für die Reflexion von Strahlungsenergie sind Porenstrukturen im  $\mu\text{m}$ -Bereich interessant, so als Wärmedämmschichten oder selektive Emittier. Bei hohen Temperaturen können derartige Strukturen jedoch unerwünschte Mikrostruktur-Veränderungen erfahren, verbunden mit einem Verlust gewünschter photonischer Parameter. An inversen Opalen von  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und Mullit, erzeugt durch vertikal selbstarrangierte Monosphären von Polystyrenen oder ALD-Infiltration (Atomic Layer Deposition) und nachfolgender Kalzination, zeigen Strukturveränderungen bei thermischer Behandlung, dass beispielsweise maßgeschneiderte Mullit-Dünnschichten mit geordneter Porosität bis zu  $1400^\circ\text{C}$  anwendbar sind.

### Silicaterkeramische Roh- und Werkstoffe

Das Forschungsprojekt „SEESand“ (Selten Erden Elemente Sand) arbeitet laut M. Martin, G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft, Freiberg/Sa, an einer Gewinnung von Zirkonium und schweren Seltenerdelementen inklusive Yttrium aus Strandsanden der Ostsee. Hauptverfahrensschritte in der Sandaufbereitung sind: Abtrennung von Zirkon durch Schwerkraft-Separation im Spiralseparator oder auf Rütteltischen, Magnetabscheidung von Ti- und Fe-Phasen, Seltenerd-Abtrennung durch Laugung oder alkalischen Schmelzaufschluss und hydrometallurgische Aufbereitung der Laugenlösung. Trotz großer geologischer Sandvorräte mit einem mittleren Zr-Gehalt um 0,3 % entscheidet die Preisfrage über eine Weiterführung des Projektes.

Eine antimikrobielle Funktionalität keramischer Erzeugnisse kann nach G. Schneider, RAS AG, Regensburg, wie folgt erreicht werden: Beschichtung oder Einarbeitung des Wirkstoffs direkt ins Produkt, beispielsweise durch Glasieren, wodurch eine höhere Dauerhaftigkeit erreichbar ist. Für eine Applikation von n-Ag „Agpore nanosil-

ber“ erfolgt eine Risikobewertung in Übereinstimmung mit der EU BPR 698/2017. Danach ist das Produkt thermostabil und entspricht den hygienischen Anforderungen im Klinik-, Sanitär- und Lebensmittelbereich.

Die Ursachenerkundung für eine verzögerte Deformation silicaterkeramischer Produkte durch M. Engels, Forschungsinstitut für Anorganische Werkstoffe – Glas/Keramik GmbH (FGK), Höhr-Grenzhausen, stellt den Bezug zur Schnellbrandtechnologie, die in den 1980er Jahren einen enormen Entwicklungssprung in der Fliesenherstellung im Rollenofen darstellte, her. Jedoch gewährleistet dabei eine Hochtemperaturphase von nur wenigen Minuten keine vollständige Umsetzung der Tonminerale, verbunden mit nur eingeschränkter Sinteraktivität. Daraus resultierende Übergangsphasen aus röntgenamorphem Tonmineralen neigen im praktischen Gebrauch der Erzeugnisse durch Wasseraufnahme aus der Raumluft zu einer Rehydroxylierung, die letztlich Ursache für zeitabhängige Deformationseffekte ist, insbesondere bei großformatigen Produkten wie Fliesen oder Labortischplatten. Normkonforme Spezifikationen werden so teils nicht erfüllt. Um dieser Problemstellung zu begegnen, hat sich eine prozessgesteuerte Vorwölbung etabliert, die sich durch verzögerte Krümmungseffekte nach dem Brand eliminiert. Damit einher gehen jedoch eine Prozessunsicherheit und hohe Lagerhaltungskosten. Somit liegen die Ursachen der zeitabhängigen Deformationsneigung silicaterkeramischer Produkte sowohl

in der Prozesstechnik als auch im Material begründet.

In praktischer Umsetzung eines vom BMWI geförderten Projektes „Untersuchung und Identifizierung rheologischer Wechselwirkungen tonmineralhaltiger Rohstoffe in wässrigen Systemen mittels Entwicklung eines Mess- und Bewertungsverfahrens auf Basis der Rotationsviskosimetrie“ realisiert M. Engels, FGK, Höhr-Grenzhausen, die „Entwicklung einer Messprozedur zur rheologischen Charakterisierung tonbasierter Schlicker als Basis für eine DKG-Richtlinie“. Das rheologische Verhalten von keramischen beziehungsweise Email-Schlickern ist ein kritischer Einflussfaktor auf die Prozess- und Produktqualität. Dabei beinhaltet die Rheologie mehr als nur die Viskosität des Schlickers. Im Unterschied zu klassischen Messmethoden, basierend auf Ein- oder Mehrpunktmessungen der Viskosität oder Kennzahlen (zum Beispiel mit Auslaufbecher ermittelt), bietet die heutige Messtechnologie mit modernen Rheometern die Möglichkeit, Prozessabläufe - sowohl von der Scherbelastung des Materials während der Verarbeitung als auch vom zeitlichen Ablauf der Verfahrensschritte - abzubilden und unter definierten und reproduzierbaren Bedingungen zu messen (Bild 3). Das bedeutet eine Optimierung der Prüfmittelfähigkeit, die mit klassischen Methoden nicht möglich ist. Schwerpunkte der erarbeiteten Auswertemöglichkeiten der Rheometrie mittels scherratenabhängiger und zeitabhän-

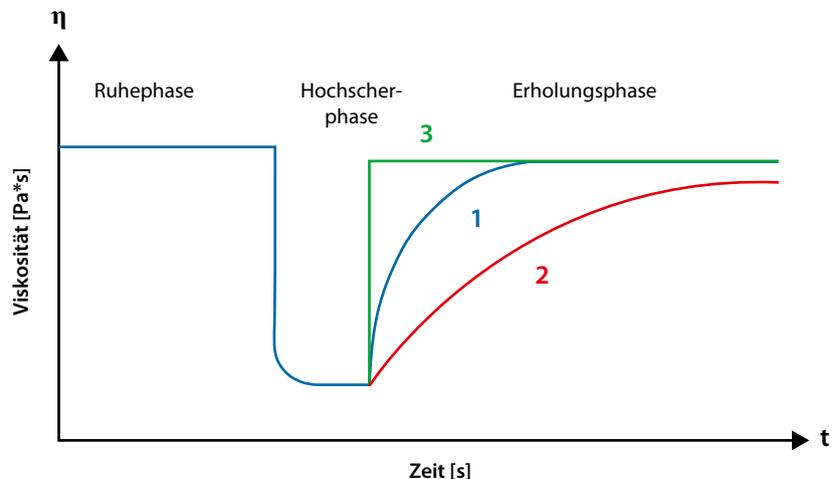


Bild 3 Sprungversuch als Beispiel rheometrischer Mess- und Prüfmöglichkeiten (© Engels/ FGK)

giger Untersuchungen führten unter Zuarbeit des Fachausschusses Rohstoffe der DKG zu einem ersten Konzept eines rheologischen Leitfadens beziehungsweise zur Umsetzung in einer entsprechenden Richtlinie.

L. Gorjan, Empa, Dübendorf, Schweiz, entwickelt eine neue Prozessroute zur Realisierung von Mullitstrukturen, ausgehend von einem thermoplastischen Feedstock, der aus einem Polymethylsiloxan-Precursor, zwei verschiedenen  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ -Pulvern unterschiedlicher Partikelgrößenverteilung und Ethylenvinylacetat als Polymerbinder besteht. Beim Brennprozess geht das Siloxan in ein hochreaktives  $\text{SiO}_2$  über, das in situ mit dem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  reagierend zur Mullitbildung führt. Der Bildungsbeginn liegt bei  $1250^\circ\text{C}$ , bei  $1600^\circ\text{C}$  ist die reine Mullitphase ausgebildet.

## Keramik für Elektronik und Mobilität

Nach J. Fleig, TU Wien, ist die Rolle von Ionendefekten und deren Beweglichkeit in Metalloxiden von essentieller Bedeutung für Funktionskeramiken. So zeigt sich in dotierten  $\text{SrTiO}_3$ -Filmen mit einer Bandlücke von etwa 3 eV, wie eine feldgetriebene Ionenleitung Induktionsschleifen in den Impedanzspektren bewirkt. Neuere Messungen belegen die Existenz von Photochromismus, zurückzuführen auf UV-induzierte Stöchiometrieänderungen. Tracer-Diffusions-Experimente in  $\text{LaMnO}_3$ -Dünnschichten offenbaren die Komplexität eines Ionentransports mit erhöhter Diffusion entlang von Korngrenzen und Dislokationen und einen Anstieg im Diffusionsprofil polarisierter Filme.

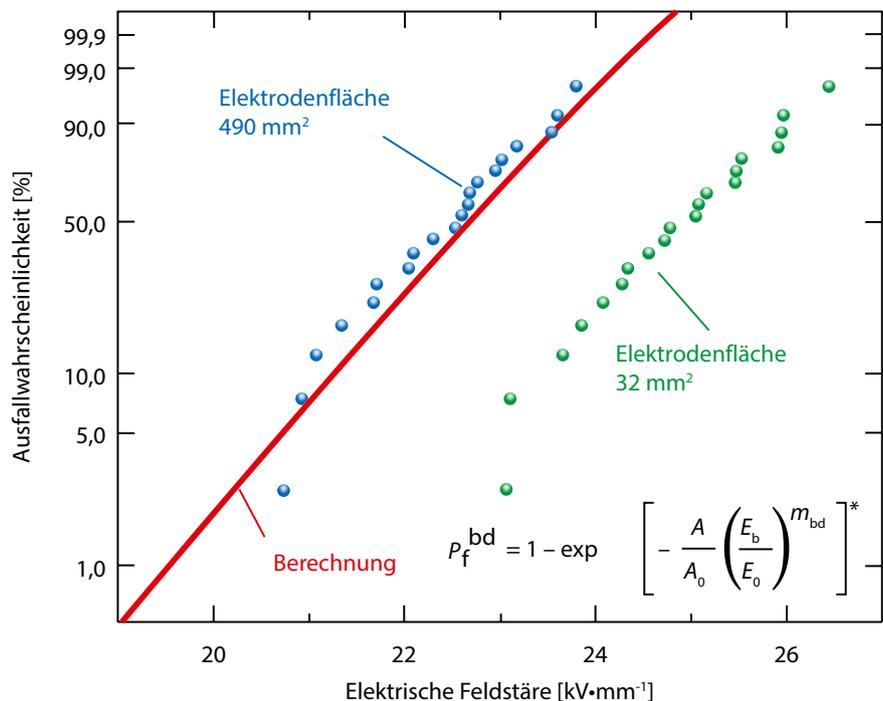
M. Hinterstein, KIT, Karlsruhe, bewertet die Rolle einer mehrstufig kombinierten Charakterisierung von Hochleistungskeramiken für ein fundamentales Verständnis im komplexen Wechselverhältnis zwischen innerer Struktur und makroskopischen Parametern, demonstriert am Beispiel von  $\text{PbZr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ . Das schafft gute Voraussetzungen für eine Modellierung und Simulation möglichen Werkstoffverhaltens.

I. Kinski, Fraunhofer IKTS, Hermsdorf, stellt die Entwicklung keramischer Lichtkonverter-Wafer auf Basis von Ce-dotiertem YAG für hermetische, vollkeramische LED-Gehäuse dar, und zwar speziell für einen Ein-

satz unter harschen Bedingungen (feuchte Atmosphäre, hohe Schadgaskonzentration), unter denen eine Hausung mittels gängiger Polymere zu einer rapiden Degradation der Abstrahlungseigenschaften von LEDs führen würde. Mit dieser vollkeramischen Hausungstechnologie können im Betrieb in rauer Umgebung eine hohe Farbstabilität und konstante Lichtausbeute gewährleistet werden. Verschiedene Prozessrouten für den keramischen Lichtkonverter und dessen Oberflächenfinish wurden entwickelt und das upscaling bis zu Abmessungen von 4 inch realisiert.

Für Festelektrolyte von Na-Ionenbatterien sind analog zu den Flüssigelektrolyten extrem hohe Ionenbeweglichkeiten erforderlich. S. Lunghammer, TU Graz/AT, untersuchte an dichtgesinterter Keramik auf Basis von kommerziellem  $\text{Na-}\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$  des Unternehmens Ionotec Comp. die Ionendiffusion und den -transport sowohl durch das Körpervolumen als auch entlang der Korngrenzen bei Ionenleitfähigkeiten im Bereich von  $\text{mS/cm}$ . Als Untersuchungsmethoden kamen NMR in Kombination mit Leitfähigkeits-Spektroskopie, TEM und EDX zum Einsatz.

B. Mieller, BAM, Berlin, untersuchte den Einfluss der Elektrodenfläche auf die elektrische Durchschlagfestigkeit. Da im Unterschied zur mechanischen Festigkeit die Durchschlagfestigkeit mit der inversen Quadratwurzel der Probendicke skaliert, ist dies mit dem klassischen Weibull-Konzept nicht erklärbar. Ein von Schneider vorgeschlagenes Griffith'sches Energiefreisetzungsratenmodell für den elektrischen Durchschlag geht von oberflächendefekten beziehungsweise leitfähigen Filamenten an der Oberfläche aus und erklärt die Dickenabhängigkeit. Auf diesem Modell und auf der klassischen Weibullverteilung basierend hat Schneider theoretisch abgeleitet, dass die Ausfallwahrscheinlichkeit mit zunehmender Elektrodenfläche steigt. Dieses Modell mit experimentellen Daten testend wurden Durchschlagfestigkeiten von dichten  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Proben mit unterschiedlichen Elektrodengrößen gemessen. Dabei wurde ein Datensatz für kleine Elektroden genutzt, um die Ausfallwahrscheinlichkeiten für größere Elektroden anhand des Modells zu berechnen. Diese Werte stimmen sehr gut mit den entspre-



\* Neusel et al., J. Eur. Ceram. Soc 35 (2015)

Bild 4 Ausfallwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der elektrischen Feldstärke bei unterschiedlich großen Elektrodenflächen (© Mieller/BAM)

**Tabelle 1** Bewertung verschiedener Formgebungsverfahren zur Herstellung von Beta-Alumina-Rohren (© Rozumek/ Morgan Advanced Materials Haldenwanger)

	Extrusion	EPD	Isostatisch
Kosten	0	---	++
Skalierbarkeit	+	--	+
Prozesssicherheit	0	+	+++
Komplexität	---	+	++
Reproduzierbarkeit	-	0	++

chenden Messwerten überein, folglich sind die Annahmen des Modells korrekt und unterstreichen die Bedeutung der Elektrodenoberfläche für den elektrischen Durchschlag (Bild 4).

### Keramik für Energie- und Umwelthanwendungen

Nach M. Rozumek, Morgan Advanced Materials Haldenwanger GmbH, Waldkraiburg, beschäftigt sich die Firma bereits seit circa 10 Jahren mit der Entwicklung und Herstellung von Na-Beta-Aluminiumoxid-Komponenten für den Einsatz in Na-Ionenbatterien. Unter den bislang erprobten Formgebungsverfahren wurde über einige Jahre auch die Extrusion genutzt, letztlich fiel aber die Entscheidung zugunsten der Isostatik, wodurch nachfolgende Trocknungsschritte eingespart werden konnten. Unter Abwägung der Vor- und Nachteile verschiedener Formgebungsverfahren (Tabelle 1) gelang es mittels Isostatik, das nach allgemeinem Kenntnisstand weltweit längste und größte Rohr von 900 mm Länge zu realisieren (Bild 5).

$\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ -Festelektrolyte (LLZO) für Li-Ionenbatterien wurden von D. Rettenwanger, TU Graz, hinsichtlich Struktur und Stabilität untersucht. Unter den oxidbasierten Festelektrolyten hat der kubische Granat LLZO das Potenzial für zukünftige Energiespeichertechnologien dank extrem hoher Ionenleitfähigkeit und Stabilität gegenüber Hoch- und Niederspannungs-Elektrodenmaterial. Offen sind fundamentale Fragen zur Strukturstabilität, Li-Ionenleitfähigkeit und Diffusion. Eine Stabilisierung der hochleitenden kubischen Phase bei Raumtemperatur und Inhomogenität im LLZO können zu signifikanten Leitfähigkeitsänderungen führen. Ein Wechsel von Lithium durch Wasserstoff in feuchter Atmosphäre senkt die Ionenleitfähigkeit und fördert eine Protonendiffusion mit signifikantem Einfluss auf Zelleistung und Sicherheit.

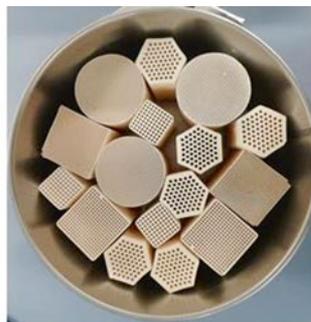
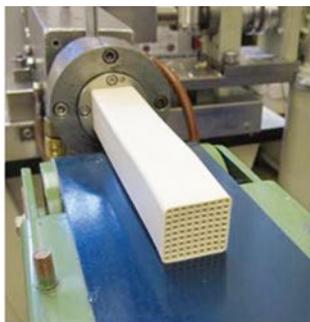
Die elektrische Leitfähigkeit von Ti-Suboxiden nutzend entwickelt H.-P. Martin, Fraunhofer IKTS, Dresden, darauf basierende thermoelektrische Module. Ausgangspunkt sind  $\text{TiO}_x + \text{TiO}_2$  in Granulatform (50-100  $\mu\text{m}$ ), weiterverarbeitet durch Trocken-



**Bild 5** Isostatisch gefertigtes Beta-Alumina-Rohr des Unternehmens Haldenwanger (© Rozumek/ Morgan Advanced Materials Haldenwanger)

pressen. Die bei 1450 °C gesinterten Bauteile werden bei gleicher Höhe auf  $\pm 10 \mu\text{m}$  endbearbeitet und mittels glass coating vor Oxidation geschützt. Dafür ist eine gewisse mechanische Grundfestigkeit erforderlich, da thermomechanische Spannungen entstehen, die umso höher sind, je niedriger die thermische und elektrische Leitfähigkeit ist.

Obwohl hydrophile Zeolithe dank ihrer Wasseradsorptionskapazität, kombiniert mit einer hohen Adsorptionenthalpie, kommer-



**Bild 6** NaY-Zeolith-Adsorberkörper (© Richter/Fraunhofer IKTS)

ziell für eine kurzzeitige Wärmespeicherung genutzt werden, ist eine Langzeit-Wärmespeicherung industrieller Abwärme über Stunden oder Tage auf diesem Wege noch nicht gegeben. Um dafür die Applikationsgrenzen auszuloten, wurden von H. Richter, Fraunhofer IKTS, Hermsdorf, binderfreie Zeolithschüttungen und binderfreie Wabenkörper in offenen und geschlossenen Adsorptionsanlagen systematisch getestet. Eine hohe Adsorptionskapazität von 26 Gew.-% Wasser wurde für NaY-Schüttungen nach Trocknung bei 300 °C und Wiederbefeuchtung gefunden, wobei Temperaturen von bis zu 80 °C über einen Zeitraum von über 5 Stunden auftraten. Bei reduzierter Trocknungstemperatur nimmt die Adsorptionskapazität deutlich ab, dennoch werden immer Temperaturen von 70-80 °C erreicht. Eine deutliche Steigerung der Packungsdichte und somit der Adsorberkapazität pro Volumeneinheit bei gleichzeitiger Reduzierung des Strömungswiderstandes wird mit NaY-Zeolith-Wabenkörpern und -Rohren als perspektivischem Adsorber erreicht (Bild 6).

R. Kircheisen, Fraunhofer IKTS, Hermsdorf, bewertet das Potenzial zur Energieeinsparung bei Industrie-Gasöfen durch Integration einer mittels Keramikmembranen realisierbaren Sauerstoffherzeugung, so dass mit reinem O<sub>2</sub> angereicherte Verbrennungsluft bei Prozesstemperaturen von > 850 °C zu intensiverer Verbrennung führt. Eine daraus resultierende Primärenergieeinsparung bedeutet geringere CO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen. Das mittels BaSrCoFe-Membranen erzeugte 100%-ig reine O<sub>2</sub>, für das ein sehr großer Markt besteht, erfordert zu seiner Erzeugung einen Energieaufwand von ca. 0,7 kWh/m<sup>3</sup> bei einer Prototypkapazität von 10 m<sup>3</sup>/h.

Eine Möglichkeit zur Elektroenergiegewinnung aus der Abwärme technologischer Prozesse stellt J. Lechner, Orcan Energy AG, München, mit der sogenannten ORC-Technologie vor (ORC = Organic Rankine Cycle). Dabei handelt es sich um einen geschlossenen Energie-Konversions-Prozess unter Nutzung eines organischen Mediums mit niedriger Siedetemperatur (Start bei 80 °C). Das modulare und flexible Design gewährleistet eine einfache Integration in thermische Prozessabläufe (Drehrohrofen, Zyklotrone) bei kurzer Rückflussdauer getätigter Investitionen. ◀

1 Friedmar Kerbe ist Korrespondent der keramischen Zeitschrift und Mitglied des Redaktionskomitees.

# ATZ live

## Antriebs- und Fahrzeugtechnik im Gespräch



### FACHKONFERENZEN FÜR FAHRZEUG- UND MOTORENINGENIEURE

- Gesamtfahrzeug
- Motor und Antriebsstrang
- Chassis und Fahrerassistenz
- Karosserie und Akustik
- Elektromobilität

AKTUELLE TAGUNGSPROGRAMME  
[www.ATZlive.de](http://www.ATZlive.de)

# Rohstoffe und Sekundärrohstoffe für Baustoffe

Manfred Röhrs<sup>1</sup>

In Deutschland fallen ca. 412 Mio. t Abfall pro Jahr an und die Tendenz ist steigend. Besonders im Bau- und Abbruchbereich nimmt der produzierte Müll zu und beträgt etwa die Hälfte des gesamten Abfalls bei steigenden Recyclingquoten. 80 % aller Abfälle sollen zurzeit recycelt oder zur Energiegewinnung verbrannt werden. Nur etwa 17 % des gesamten Müllaufkommens werden noch auf Deponien entsorgt.

Langfristig gesehen soll eine deutliche Mehrheit der Bundesbürger in Frage stellen, ob immer mehr Wirtschaftswachstum das Wichtigste ist. Sie sind zudem der Meinung, dass es möglich sein muss, den Zuwachs an materiellem Wohlstand der Bevölkerung mit dem Schutz der Umwelt und einem sorgsamem Umgang mit Ressourcen zu verbinden. Allerdings besteht oft nach wie vor der Eindruck, dass wirtschaftliches Wachstum und Wohlstand noch immer Vorrang vor Umweltschutz haben. Nach dem Bundesumweltamt (UBA)-Ressourcenbericht zur Jahreswende 2018/19 ist der deutsche Rohstoffkonsum seit dem Jahr 2000 zwar insgesamt um 17 % gesunken. Aber in den vorgenannten Jahren soll er wieder angestiegen sein. Somit konsumiert jeder Deutsche statistisch gesehen 16,1 t Rohstoffe pro Jahr und liegt damit 10 % über dem europäischen Durchschnitt. Um den Rohstoffverbrauch zu senken, rät das UBA zu einer Reform der europäischen Regeln zur Mehrwertsteuer, mit dem Hinweis „was Ressourcen schont, muss billiger werden“.

## Tone für die Baukeramik

Nach dem Bauen mit Lehm gehören bekanntlich die Ziegel zu den ältesten Baustoffen. Der weltweite jährliche Tonverbrauch soll derzeit circa 500 Mio. t betragen und die Regenerationsfähigkeit um ein Vielfaches übertreffen. Denn für die Bildung einer nur 3 cm dicken Tonschicht werden im Mittel 1000 Jahre benötigt. So muss also die Ressourceneffizienz eine wesentliche Bedeutung erlangen und das nicht nur in Deutsch-

land, dessen jährlicher Verbrauch an Tonrohstoffen etwa 20 Mio. t beträgt. Fest steht aber, dass der Rohstoffabbau immer schwieriger und teurer wird und neue Tonvorkommen immer ungünstiger zu erschließen sind. Deshalb muss den Tonersatzstoffen in Zukunft eine wesentlich größere Bedeutung zukommen, als sie gegenwärtig eingesetzt werden. Diese oder auch tonmineralische Rohstoffe sind beispielsweise Filterkuchen aus der Mineralwäsche und tonige Überlagerungshorizonte sowie Abraumphorizonte in Kiesgruben und Steinbrüchen. Geeignete Masseversätze, vorrangig für Hintermauerziegel, sind übrigens seit Jahren bekannt und erprobt. Das große Ziel beim Recycling ist, die Ausgangsmaterialien wieder als Sekundärrohstoffe verwerten zu können und somit Rohstoffe für den Wirtschaftskreislauf zurückzugewinnen. Aus dem Bauschuttrecycling vorwiegend aus Ziegelmauerabbruch sei daher auf ein laufendes Projekt aus dem Weimarer Institut für Angewandte Bauforschung GmbH verwiesen, wonach dieser Bauschutt als Rohstoff für die Herstellung von leichten Gesteinskörnungen eingesetzt werden kann. Dafür muss das vorbereitete Material ein thermisches Verfahren, ähnlich der Blähtonherstellung, durchlaufen und damit wettbewerbsfähig sein.

## Sande, Kiese und recycelte Körnungen

Unter Sand versteht wird per Definition die Anhäufung kleiner loser Materialkörner von 0,06–2 mm Durchmesser verstanden, eingeschlossen die Kiese mit 2–63 mm Durch-

messer. Der Weltverbrauch ist stark steigend mit einer jährlichen Inanspruchnahme von gegenwärtig ca. 40 Mrd. t. Davon entfallen 90 bis 95 % auf das Bauwesen. Deutschland soll jährlich aktuell circa 255 Mio. t fördern. Auch wenn nach Aussagen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe die Vorkommen für Jahrtausende reichen sollen, ist die Ressource nicht immer zugänglich und Deutschland bezieht bereits seit Jahren Sand aus Dänemark und aus Norwegen. Bei jährlich steigender Recyclingquote von Bauschutt in Deutschland steigen auch die Möglichkeiten des Einsatzes der Feinkörnungen. Jedoch ist der gegenwärtige Zustand unbefriedigend, weil bundeseinheitliche Verwertungsregeln in Form von Zulassungen noch nicht verbindlich sind. Noch gehen insgesamt nur circa 10 % der recycelten Fein- und Grobkörnungen in den frischen Beton. Spezifisch ist zurzeit allerdings nur 1 % recycelte Feinkörnung zulässig, während von Fachleuten bis 10 % als unproblematisch angesehen wird. Denn nach entsprechender Aufbereitung sind recycelte Gesteinskörnungen < 2 mm Durchmesser für Zementbetone seit Jahren als gut geeignet nachgewiesen.

## Renaissance im Bauen mit Holz

Bekanntlich muss Zement aufwendig gebrannt werden, was global und gegenwärtig mehr Kohlendioxid freisetzen soll, als die Flugzeuge sämtlicher Airlines der Welt. Holz indes soll ca. 1,4 t CO<sub>2</sub> pro Tonne Holz binden und Jahrzehnte gespeichert bleiben.

Zum Beispiel wird in den Ländern Nordeuropas schon seit Jahrhunderten – als übrigens die Bindung des CO<sub>2</sub> an Bäume noch unbekannt war – im Wohnungsbau bis einschließlich der Gegenwart maßgeblich mit inländisch erzeugtem Holz gebaut. Auch in Deutschland und in anderen europäischen Ländern wird aktuell eine Renaissance im Holzbau sichtbar. So ist unlängst in Wien das höchste Hochhaus aus Holz mit 24 Stockwerken und mit einer Höhe von 84 m fertig gestellt worden. Gegenüber der konventionellen Bauweise sollen 2800 t CO<sub>2</sub> eingespart werden. Hinsichtlich der Brandgefahr wird von der TU München, Lehrstuhl für Holzbau, versichert: „Holz ist in dieser Hinsicht genauso sicher, wie andere Werk-

stoffe“. Neben den vielen Möglichkeiten von vorrangigen Wohnbauten aus Holz sei auf die sogenannte „Nachverdichtung“ von bestehenden Häuserblöcken durch Aufstockungen einer oder mehrerer Etagen verwiesen. Wettbewerber sprechen allerdings von „ordnungspolitischen Irrwegen“ und von einer Holzbauoffensive, beispielsweise in Baden-Württemberg, wo nach Plänen der Landesregierung möglichst alle öffentlichen Bauvorhaben zukünftig in Holz- beziehungsweise Holzhybridbauweise errichtet werden sollen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden: Jede Veränderung birgt Chancen aber auch Risiken. Es gibt gute Gründe, alles so zu belassen wie es ist und es gibt auch gute

Gründe, eine neue Richtung einzuschlagen. Letzteres würde heißen: Schonender Umgang mit Ressourcen, denn die meisten davon sind endlich. ◀

## Quellen

Mitgliederinfo des Unternehmerverbandes Mineralische Baustoffe, Nr. 01/2019

Krakow, L.: Rohstoffeffizienz in der Ziegelindustrie, ZI intern. Reprint 2014

Röhrs, M.: cfi (2019) [1–2] D14–D16

Hoflinger, L.: Strandräuber. Der Spiegel 40 (2014) 106–109

1 Dr. Manfred Röhrs ist freier Journalist.

# Gute Übereinstimmung der Festigkeitszunahme mit steigender Dehnraten zwischen Versuch und Simulation



T. Schmack  
**Entwicklung einer ganzheitlichen Methode zur Bestimmung des dehnratenabhängigen Verhaltens faserverstärkter Kunststoffe**

2019. XXXIII, 235 S. 107 Abb., 10 Abb. in Farbe.

Brosch.

€ (D) 64,99 | € (A) 66,81 | CHF 72.00

ISBN 978-3-658-26930-2

€ (D) 49,99 | CHF 57.50

ISBN 978-3-658-26931-9 (eBook)

Tobias Schmack entwickelt experimentelle und numerische Methoden zur Ermittlung des dehnratenabhängigen Verhaltens von einfachen Laminaten bis zu strukturähnlichen Komponenten aus faserverstärkten Kunststoffen. Der Autor führt den Nachweis, dass die Berücksichtigung der dehnratenabhängigen Festigkeitszunahme von CFK in der Dimensionierung von Bauteilen ein zusätzliches und bisher weitestgehend ungenutztes Leichtbaupotenzial birgt. Die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung bezüglich der [...]

€ (D) sind gebundene Ladenpreise in Deutschland und enthalten 7 % für Printprodukte bzw. 19 % MwSt. für elektronische Produkte. € (A) sind gebundene Ladenpreise in Österreich und enthalten 10 % für Printprodukte bzw. 20 % MwSt. für elektronische Produkte. Die mit \* gekennzeichneten Preise sind unverbindliche Preisempfehlungen und enthalten die landesübliche MwSt. Preisänderungen und Irrtümer vorbehalten.

# Die Glas- und Keramikbranche im Wandel – welche Risiken bergen anstehende Veränderungen?

Ruth Klüser<sup>1</sup>, Ina Neitzner<sup>1</sup>

In keinem anderen Land in Europa gibt es so viele Glas produzierende Unternehmen wie in Deutschland. Im Jahr 2017 beschäftigte die deutsche Glasindustrie rund 55 000 Menschen, die in überwiegend mittelständischen Industriebetrieben Glas herstellen, veredeln und verarbeiten [1]. 2015 belief sich deren Gesamtumsatz auf rund 8,5 Milliarden Euro. Gemessen an der Beschäftigtenzahl besitzt die Flachglasverarbeitung mit rund 44 % den größten Anteil, gefolgt von der Hohlglasherstellung mit 27 %. Die deutsche Glasbranche gilt als besonders innovationsstark, Grundvoraussetzung hierfür ist ein hohes Qualifikationsniveau der Beschäftigten [2].

## 1. Hintergrund

Die Bandbreite der keramischen Industrie reicht von Kalksandsteinwerken über die Feuerfestindustrie bis hin zur Porzellanherstellung. Mit einem Gesamtumsatz von 8,3 Milliarden Euro und rund 42 200 Mitarbeitern (Stand 2016) ist die keramische Industrie ein bedeutender Teil der deutschen Industrie. Die Feinkeramik ist mit ca. 20.000 Beschäftigten die größte Teilbranche, es folgen die Branche Ziegel- und Baukeramik (etwa 6200 Beschäftigte) sowie die Sparte Feuerfest und Säureschutz (etwa 5600 Beschäftigte) [3]. Insgesamt gibt es im Jahr 2017 in der Branche „Herstellung von Glas-, Keramik- und Steinwaren“ 992 Betriebe [4].

Die Menschen, die in der Glas- und Keramik-Branche arbeiten, sind einer Reihe von Gefährdungen ausgesetzt: Die Keramik- und Glasberufe gehören zu den Berufsgruppen mit einer sehr hohen Krankheitslast, das heißt einer Häufung von Arbeitsunfähigkeit oder Frühberentung, tatsächlich liegen sie sogar bei den Männern auf dem ersten Platz [5]. Auch Arbeitsunfälle kommen häufig vor: In der Glas- und Keramik-Branche liegt im Jahr 2016 die relative Unfallhäufigkeit – die Zahl der meldepflichtigen Unfälle je 1000 Versicherte – bei etwa 32 [6]. Dies ist verglichen mit der gewerblichen Wirtschaft insgesamt ein deutlich erhöhter Wert – dort beträgt die relative Unfallhäufigkeit ledig-

lich knapp 23 [7]. Die Teilbranchen im Glas- und Keramik-Sektor weisen allerdings sehr unterschiedliche Unfallzahlen auf. So beträgt die relative Unfallhäufigkeit der Unternehmen in der Grobkeramikbranche fast 39, in der Glasindustrie etwa 35 und im Bereich Feinkeramik nur knapp 21 [6]. Unter anderem lässt sich dieser Unterschied dadurch begründen, dass in der Feinkeramikindustrie die Automation teilweise stärker vorangeschritten ist als in den beiden anderen Branchen. Infolgedessen sinkt in der Regel auch das Gefährdungspotenzial [8].

Trotz der in der Gesamtbranche hohen Unfallzahlen ist eine positive Tendenz erkennbar – in absoluten und relativen Zah-

niedrigsten Stand seit 2008. Dieser rückläufige Trend zeigt sich in allen drei Teilbranchen: Den stärksten Rückgang bei den Unfallzahlen weisen die Unternehmen der Grobkeramik auf (6,5 Prozentpunkte), in der Glasindustrie sank die Zahl der Arbeitsunfälle um 5,1 Prozentpunkte, in der Feinkeramikbranche um 2,1 Prozentpunkte [6]. Dies scheint auch ein Effekt der Präventionsarbeit der letzten Jahre zu sein [8].

Das Berufskrankheitsgeschehen spiegelt in erster Linie die Exposition gegenüber krebserzeugenden, reizenden oder sensibilisierenden Stoffen sowie einer hohen Lärmbelastung wider: Im Zeitraum von 2012 bis 2016 gab es insgesamt 909 bestätigte Fälle von Berufskrankheiten (BK) in der Glas- und

---

„Die Glas- und Keramikindustrie ist eine Branche mit sehr unterschiedlichen Arbeitsbedingungen.“

---

len. Im Jahr 2016 sind 4598 Unfälle zu verzeichnen, das entspricht einem Rückgang um knapp 5 Prozentpunkte im Vergleich zum Vorjahr. Auch die relative Unfallhäufigkeit ist gesunken und liegt 2016 auf dem

Keramikbranche, darunter sind 294 durch Krebs verursachte Fälle (Asbestose, Lungenkrebs, Kehlkopfkrebs, Silikose, Mesotheliom), 379 Berufskrankheitsfälle infolge von Hautkrankheiten und 251 Berufskrankheits-

## Autoren



DR. RER. NAT.  
RUTH KLÜSER

(Ruth.klueser@dguv.de)  
promovierte an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn im Bereich Chemie. Seit 2011 ist sie Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Referat „Wissenschaftliche Kooperationen“ am Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.



INA NEITZNER  
(Ina.neitzner@dguv.de),  
Dipl.-Übers., ist Leiterin des Referats „Wissenschaftliche Kooperationen“ am Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

fälle infolge von Lärm. Im Vergleich zum Zeitraum von 2007 bis 2011 hat sich die Zahl der bestätigten Fälle von Berufskrankheiten durch Krebs um fast 24 % verringert, bei den Berufskrankheitsfälle infolge von Lärm beträgt der Rückgang etwas mehr als 7 % [9]. Diese Zahlen untermauern den Eindruck, dass die Prävention in diesen Bereichen Erfolge zeigt.

Die Glas- und Keramikindustrie ist eine Branche mit sehr unterschiedlichen Arbeitsbedingungen und grundverschiedenen Risiken und Belastungen. In weiten Bereichen handelt es sich bereits jetzt um eine Hightech-Branche, die innovationsstark ist, über einen beträchtlichen Digitalisierungs- und Automatisierungsgrad verfügt, einen großen Bedarf an hochqualifizierten Fachkräften hat und hohe Anforderungen an die technologische Kompetenz des Personals stellt. In den kommenden Jahren wird der digitale Wandel noch an Fahrt gewinnen. Industrielle Systeme und Anlagen, aber auch

Arbeitsabläufe und -prozesse werden immer komplexer und bergen damit das Risiko einer andauernden Überforderung der Beschäftigten.

Trotz dieser in vielen Zweigen der Glas- und Keramikbranche weit verbreiteten Technologisierung hat die Branche auch noch eine zweite, völlig anders geartete Seite, die von lange bekannten Risiken geprägt ist: Viele Beschäftigte – vor allem in der Produktion – sind noch immer einer erheblichen Lärmbelastung ausgesetzt, müssen in großer Hitze beziehungsweise mit Hitzeschutzkleidung arbeiten, mit schweren Lasten umgehen oder über lange Zeiträume in Zwangshaltungen arbeiten. Überdies sind sie bei einer Reihe von Tätigkeiten gegenüber Gefahrstoffen exponiert, die teilweise ein kanzerogenes oder mutagenes Potential aufweisen. Die Verfahrenstechnik erlaubt es oftmals (noch) nicht, Abläufe und Produktionsprozesse unter günstigeren Bedingungen durchzuführen; auch finden sich oft keine geeigneten, weniger gefährlichen Ersatzstoffe. Häufig treten mehrere der genannten Belastungen der Beschäftigten in Kombination auf, in vielen Fällen verschärft die in diesem Sektor übliche Schichtarbeit die Belastungssituation.

Neben diesen „klassischen“ Faktoren und der oben beschriebenen Digitalisierung bestimmen auch aktuelle gesellschaftliche Entwicklungen die Arbeitswelt der Branche

und führen zu neuen Risiken. Hierzu zählen der demografische Wandel, die zunehmende Überalterung der Beschäftigten und der damit eng zusammenhängende Mangel an Fachpersonal. Wenn die geburtenstarken Jahrgänge in absehbarer Zeit in den Ruhestand gehen, kann sich das nicht nur ungünstig auf die wirtschaftliche Situation und die Innovationsfähigkeit der Branche auswirken, sondern auch auf die Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit.

Tabelle 1 zeigt, welche aktuellen Trends und Entwicklungen die Branche „Glas, Glaswaren, Keramik“ hinsichtlich der Sicherheit und Gesundheit in der nahen Zukunft beeinflussen werden. Diese Einschätzungen wurden im Rahmen des Risikoobservatoriums der DGUV erhoben und stammen von Aufsichtspersonen und anderen Präventionsfachleuten der gesetzlichen Unfallversicherung. Die einzelnen Entwicklungen werden im Folgenden detaillierter erläutert.

## 2. Einschätzung zu Sicherheit und Gesundheit

### 2.1 Physikalische und chemische Einwirkungen

Zu den Belastungsfaktoren infolge von physikalischen Einwirkungen und der Exposition gegenüber gesundheitsgefährdenden Stoffen zählen Lärm, Hitze, übermäßige

**Tabelle 1** Rangreihung der bedeutsamsten Entwicklungen im Hinblick auf den Arbeitsschutz der nahen Zukunft in der Branche „Glas, Glaswaren, Keramik“ als Ergebnis der Befragungsstufe 2 des Risikoobservatoriums der DGUV, 2018<sup>1</sup> (© Klüser/ DGUV)

Rang	Entwicklung
1	Lärm
2	Kanzerogene und mutagene Substanzen
3	Komplexität von Mensch-Maschine-Schnittstellen
4	Langanhaltende und/oder einseitige Beanspruchung des Muskel-Skelett-Systems
5	Demografischer Wandel und unausgewogene Altersstruktur
6	Thermische Exposition
7	Fachkräftemangel

1 Es gibt zwei Befragungsstufen. Die Präventionsfachleute bewerten in Stufe 1 die Bedeutung von circa 40 Entwicklungen ihrer Branche auf einer Skala von 1 bis 9. Durch statistische Berechnungen (Bildung von Konfidenzintervallen um die Mittelwerte), die berücksichtigen, wie eng die Bewertungen einzelner Entwicklungen beieinanderliegen, werden die bedeutendsten Entwicklungen extrahiert. Ihre Anzahl kann je nach Branche (deutlich) variieren. In Stufe 2 bilden die Präventionsfachleute aus diesen wichtigsten Entwicklungen eine endgültige Rangreihe.

Beanspruchungen des Muskel-Skelett-Systems sowie die häufige Arbeit mit krebserregenden oder mutagenen Substanzen.

## 2.2 Lärm

In der Branche Glas und Keramik ist die Lärmschwerhörigkeit die am häufigsten angezeigte Berufskrankheit [10]. Die hohe Prävalenz dieser Krankheit korreliert mit dem hohen Altersdurchschnitt dieser Branche (s. Abschnitt „Gesellschaftliche Entwicklungen“) – eine Lärmschwerhörigkeit tritt erst viele Jahre oder Jahrzehnte nach der Exposition auf. Für die kommenden Jahre besteht allerdings die Möglichkeit, dass technologische Weiterentwicklungen, leisere Prozesse und Verfahren, eine erhöhte Aufmerksamkeit für das Thema Lärm und eine konsequentere Nutzung von individuell angepasstem Gehörschutz Wirkung zeigen und die Zahl der Fälle von Lärmschwerhörigkeit zurückgehen werden.

Die Lärmbelastung in der keramischen und Glas-Industrie ist bisweilen erheblich, eine Vielzahl der Arbeiten in diesem Sektor sind mit Lärm verbunden, der ein gehörschädigendes Potential aufweist. Beispielsweise werden an IS-Maschinen (benannt nach ihren Erfindern Ingle und Smith) Hohlglasgefäße wie etwa Flaschen hergestellt. Dieser Prozess geht mit Tageslärmpositionspegeln zwischen 100 und 106 Dezibel einher. Die Beschäftigten können sich von den IS-Maschinen allerdings nicht völlig fernhalten, zur Überwachung müssen sie an die Maschinen herantreten, ebenso zum Schmieren der Formen und zur Kontrolle der Produkte. Zwar lässt sich die Produktion teilweise in der schallgedämmten Schaltwarte überwachen, eine Lärmexposition lässt sich aber nicht gänzlich vermeiden. An den Maschinen selbst sind die technischen Möglichkeiten ausgeschöpft, der Lärm lässt sich nicht weiter reduzieren [11].

Auch NIS-Maschinen, eine neue Generation von Formgebungsmaschinen, bei denen pneumatische und hydraulische Antriebe durch servoelektrische Antriebe ersetzt worden sind, weisen noch Pegel von mindestens 95 Dezibel auf. Eine weitere Lärmquelle stellen die Blaseräusche der Kühlluft dar. Auch hier stellt sich eine deutliche Lärmreduktion als schwierig dar, nach derzeitigem Stand las-

sen sich die Geräusche infolge der Kühlung nicht weiter reduzieren [11].

In der Nachbearbeitung und Veredelung von Hohlglas sind vor allem die Tätigkeiten beim Hohlglasschleifen und Gravieren mit der biegsamen Welle mit sehr hohen Lärmbelastungen von teilweise über 90 dB(A) verbunden; Band- und Scheibenschleifen, Sägen, Bohren und Absprengen führen zu Tages-Lärmexpositionspegeln um oder über 85 dB(A). Beim Gravieren und Sandstrahlen werden erfahrungsgemäß Tages-Lärmexpositionspegel ab 80 dB(A) erreicht [12]. Die Belastungsspitzen an einer Dachziegelpresse können bis zu 88 dB(A) betragen [13].

In der Hohlglasindustrie ist daher der Einsatz von Gehörschutzstöpseln unvermeidlich, die Verwendung von Kapselgehörschützern ist aufgrund der Arbeitsbedingungen nicht möglich. Hier besteht grundsätzlich die Gefahr, dass die persönliche Schutzausrüstung nicht systematisch oder unsachgemäß verwendet wird. Gegenüber herkömmlichen Gehörschutzstöpseln ist deshalb der Einsatz von individuell angepasstem Gehörschutz (Otoplastik) zu bevorzugen.

Lärm kann auch die sprachliche Kommunikation stören und die Betroffenen besonders bei geistig anspruchsvollen Aufgaben stark beanspruchen. Dies beeinträchtigt Konzentration, Aufmerksamkeit und Gedächtnis und vermindert die Arbeitsleistung. Auch das Unfallrisiko steigt, wenn beispielsweise Beschäftigte Signale oder Warnrufe überhören oder sich aufgrund einer Schreckreaktion infolge einer unerwarteten Geräuscheinwirkung falsch verhalten. Diese Auswirkungen von Lärm sind in der Glas- und Keramikindustrie besonders zu beachten, da es sich um eine unfallträchtige Industriebranche handelt, deren Herstellungsprozesse hochkomplex sind und Fehler etwa bei der Arbeit an Hochöfen äußerst schwerwiegende Folgen haben können. Die kombinierte Belastung zum Beispiel mit Hitzearbeit oder mit einer erhöhten Beanspruchung des Muskel-Skelett-Systems verstärkt die Einwirkung des Stressors Lärm zusätzlich.

## 2.3 Hitze und Strahlung

An den Glasschmelzöfen, bei der Hohlglasfertigung, beim Feuerpolieren und anderen Anlagen der Glasindustrie sind die Beschäf-

tigten teilweise erheblichen Belastungen durch Hitze ausgesetzt. Bei Hitzearbeit führt die kombinierte Belastung aus Hitze, körperlicher Arbeit und gegebenenfalls isolierender Bekleidung zu einer Erwärmung des Körpers und damit zu einem Anstieg der Körpertemperatur. Steigt die Umgebungstemperatur über 26 °C an, können Konzentrationsmängel, Leistungsabfall, Erschöpfung und Ermüdung auftreten. So erhöht sich das Risiko für Fehler und Unfälle. Eine sehr starke Wärmeeinwirkung belastet auch das Herz-Kreislauf-System, die Atemwege und den Wasser- und Elektrolythaushalt. Im Extremfall können bei starker Überlastung des Organismus Hitzekrämpfe, Kreislaufkollaps oder Hitzschlag die Folge sein [10; 14].

An den Maschinen der Hohlglashütten, mit denen Hohlglaskörper (z. B. Flaschen) hergestellt werden, wird heißflüssige Glasmasse verformt, sodass die Beschäftigten einer intensiven Wärme- bzw. Infrarotstrahlung ausgesetzt sind, die Haut und Augen schädigen kann. Je nach Wellenlänge, Strahlungsintensität und Einwirkdauer können akute thermische Schädigungen oder Erkrankungen die Folge sein. Bei den Augen könnten vor allem zwei Schädigungen auftreten: akute thermische Schädigungen der Netzhaut oder Schäden durch die langfristige Einwirkung von Infrarotstrahlung – als Folge langjährigen Beobachtens glühender Massen [15]. Dies kann eine Trübung der Augenlinse bewirken, den sogenannten Grauen Star oder Katarakt. Diese Erkrankung – branchenintern auch Glasbläser-, Wärme oder Feuerstar genannt – wird als Berufskrankheit „Grauer Star durch Wärmestrahlung“ (BK 2401) geführt.

Trifft Infrarotstrahlung mit hoher Intensität auf ungeschützte Haut, kann es zu Verbrennungen kommen. In welchem Maß die Strahlung in das Gewebe der Haut oder der Augen eindringt, ist dabei von der jeweiligen Wellenlänge abhängig [16]. Auch bei direktem Kontakt mit heißen Oberflächen oder Flüssigkeiten können lokale Gewebeschäden wie Verbrennungen und Verbrühungen entstehen [17].

Auch wenn IS-Maschinen weitgehend autark arbeiten, ändert dies wenig an der Hitzebelastung der Beschäftigten durch Strahlungshitze und heiße Maschinenteile.

# Das Risikoobservatorium der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung e. V. (DGUV)

Auch Unfälle sind durch moderne Maschinen nicht völlig zu vermeiden: Schmier- und Überwachungstätigkeiten an den Anlagen bergen weiterhin Unfallgefahren. Zudem sind Anfahr- oder Startprozesse der Maschine risikobehaftet [18].

## 2.4 Körperliche Belastungen

Die Arbeit in der Glas- und Keramikbranche findet nicht nur oft bei hohen Temperaturen statt, sondern kann darüber hinaus anstrengende Arm- und Körperarbeit sein. Trotz einer steigenden Automatisierungsrate gibt es noch verhältnismäßig viele Tätigkeiten mit manueller Lastenhandhabung, mit erzwungenen Körperhaltungen, einer erhöhten Kraftanstrengung oder Krafteinwirkung sowie Repetitionscharakter. In der Keramikbranche ist sogar am Anfang des neuen Jahrtausends die Zahl der Fehltage aufgrund von Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems deutlich nach oben gegangen [19]. Zu den belastenden Tätigkeiten gehören beispielsweise die Ofenreparatur im heißen Ofen oder das Einlegen von Gemenge in Glashütten [15].

Auch das Ein- und Aussetzen in der grobkeramischen Industrie findet häufig noch manuell statt. Hierzu gehören beispielsweise das Setzen von Sanitärkeramiken auf einen Ofenwagen zum Transport in die Weißputzkabinen und das dortige Entladen. Zunehmende Stückzahlen und ein hohes Gewicht der Keramiken bedeuten erhebliche Rückenbelastungen für die Beschäftigten. Allerdings macht man bei diesen Tätigkeiten in steigendem Maße von Teleskopschlitten und höhenverstellbaren Tischen sowie bei ähnlichen Arbeiten im Kommissionierungsbereich von automatischen Verpackungsanlagen mit Hubtischen und Hebehilfen Gebrauch [19], ein Trend den es im Sinne der Prävention zu stärken gilt.

Ein Arbeitsbereich in der Glasindustrie, in dem besonders intensive Belastungen für das Muskel-Skelett-System auftreten, ist die Wartung und Instandhaltung der glasverarbeitenden Maschinen. Speziell in der Hohlglasproduktion sind die Maschinen überdurchschnittlich groß, überdies sind die Motoren und Getriebe oft in Positionen eingebaut, die nur schwer zugänglich sind und in denen sich nur in belastenden Haltungen

Das Risikoobservatorium als Früherkennungssystem für Trends in der Arbeitswelt fragt nach zentralen Entwicklungen in der Arbeitswelt und nach neuen Risiken am Arbeitsplatz, in Kindertagesstätten, an Schulen und Hochschulen.

Alle fünf Jahre sind die Einschätzungen von Aufsichtspersonen und anderen Präventionsfachleuten der gesetzlichen Unfallversicherung gefragt. Im Rahmen einer Online-Umfrage helfen sie mit, Antworten auf folgende Fragen zu geben:

- Wie wichtig ist ein aktueller Trend für die Sicherheit und Gesundheit der Versicherten der Unfallversicherungen?
- Welche konkreten Gefährdungen – Erkrankungen, Unfälle, Beanspruchungen – ergeben sich daraus?
- Welche Präventionsmaßnahmen können helfen?

Die Ergebnisse werden branchenspezifisch ermittelt und durch Literaturrecherchen vertieft. So erhält jeder Unfallversicherungsträger individuelle Informationen zu den Top-Trends seiner wichtigsten Branchen und damit wertvolle Hinweise für die Präventionsschwerpunkte der kommenden Jahre.

arbeiten lässt. Entweder müssen die Beschäftigten die Teile über Kopf im Liegen oder in großer Höhe ausbauen. Diese Tätigkeiten stellen eine große Belastung für die Rückenmuskulatur und die Bandscheiben dar – rückenschonendes Arbeiten ist stark erschwert [20].

Auch der Austausch von Glas- oder Ziegelformen belastet das Muskel-Skelett-System verstärkt, da diese Verschleißteile bis zu 25 kg wiegen und teils täglich gewechselt werden müssen. Oft sind die Maschinen mit Hubwagen nicht direkt erreichbar, sodass die Beschäftigten die Formen über mehrere Meter hin und her tragen müssen und immense Belastungen für Wirbel und Bandscheiben auftreten. Auch Nachsortierungsarbeiten oder das Zuschneiden von Flachglas birgt Risiken für den Rücken, falls diese Arbeiten nicht an höhenverstellbaren Tischen erfolgen. Belastungssteigernd wirken außerdem ungeeignete, nicht rutschfeste Fußböden sowie fehlende oder nicht genutzte Hilfsmittel, zum Beispiel Vakuumhebehilfen für Flachgläser oder Fächerwagen [20].

## 2.5 Gefahrstoffe

In der Glas- und Keramikherstellung sind die Beschäftigten immer noch sehr häufig inhalativen Expositionen gegenüber diversen Gefahrstoffen ausgesetzt. So kommt es zum Beispiel bei vielen Verarbeitungsprozessen zur Freisetzung von silikogenen Stäuben. Diese quarzhaltigen Stäube können Krebserkrankungen der Atemwege verursachen [21]. Krebserzeugende Metallstäube werden unter anderem beim Schleifen von

Legierungen mit Funkenbildung und beim Schweißen freigesetzt. Arsenverbindungen werden gelegentlich noch als Zusatzstoffe in Glasgemengen genutzt, schwermetallhaltige Pigmente (Nickel-, Cobalt- und Cadmiumverbindungen) finden in der keramischen Industrie Anwendung. Nickel und seine Verbindungen sind zum Beispiel in der Formenwerkstatt und beim Nickelauftragsschweißen in der Hohlglasindustrie, in verschiedenen Bereichen der technischen Keramik und in Glasuren sowie beim Schleifen, Schweißen, Schneiden und Bohren nickelhaltiger Werkstoffe anzutreffen. Nickeloxide und Nickelmischoxide sind meist als krebserzeugend in die Kategorie 1A, Nickelmetall in reiner Form oder als Legierung in die Kategorie 2 (Verdacht auf karzinogene Wirkung beim Menschen) eingestuft [22].

Eine Substitution der krebserzeugenden Metalle in Abhängigkeit zu den jeweils erforderlichen Eigenschaften der Werkstoffe ist in der Regel schwierig, und es besteht keine Möglichkeit, auf deren Verwendung zu verzichten. Sofern krebserzeugende Metalle als Verunreinigung bei der Erzeugung vorkommen, ist eine Substitution nur sehr begrenzt möglich [23]. Auch bei anderen Stoffen gibt es in vielen Fällen keinen Ersatz. Dies ist etwa bei Titandioxid der Fall, das in der Glasindustrie sowohl zur Herstellung von Spezialglas als auch von Flachglas verwendet wird. Kein anderer Stoff besitzt dieselben positiven Eigenschaften im Glas [24]. Bei Titandioxid besteht der Verdacht auf eine krebserregende Wirkung, wenn es mit der Atemluft aufgenommen wird.

Die wirksamste technische Maßnahme bei Gefahrstoffexpositionen ist das Arbeiten in geschlossenen Anlagen beziehungsweise bei vollständiger Kapselung. In einem geschlossenen System mit automatischer Rohstoffzuführung werden alle Stoff- und Prozesswerte durch moderne Steuerungstechnik erfasst und gesteuert. [25]. Nicht alle Arbeiten und Prozesse sind indes auf diese Weise durchführbar. Dazu zählen beispielsweise Reinigungs- und Reparaturarbeiten in engen Räumen, Arbeiten in Filterkammern oder manuelle Abbrucharbeiten mit Druckluftwerkzeugen. Darüber hinaus können besonders bei der manuellen Bearbeitung von mineralischen Erzeugnissen mit modernen Hochleistungswerkzeugen extrem hohe Staubbelastungen auftreten [26]. Auch bei der Produktion von Kalksandsteinen handelt es sich um ein offenes System. Hier besteht beim Be- und Entladen der Härtekessel die Gefahr einer erhöhten Exposition gegenüber Hydrazin, das als Korrosionsschutzinhibitor verwendet wird und als krebserzeugend in die Kategorie 1B eingestuft ist [27].

Aus Erzen, Gemischen, Legierungen und Erzeugnissen (etwa nickelhaltigen Schweißelektroden), die in der Branche Verwendung finden, können bei bestimmten Tätigkeiten ebenfalls krebserzeugende Metalle und ihre Verbindungen entstehen oder freigesetzt werden, zum Beispiel durch thermische oder mechanische Bearbeitungsverfahren [28]. Desgleichen erfordert auch die Herstellung von Solarzellen in vielen Fällen den Einsatz giftiger oder ätzender Gefahrstoffe, die teilweise zugleich kanzerogen und mutagen wirken – wie etwa Arsen und Cadmium und deren anorganische Verbindungen [29; 30]. In vielen Fällen ist es nicht möglich, für diese Stoffe geeignete Substituenten zu verwenden. Teilweise spielen auch finanzielle Gründe eine Rolle oder gesetzliche Regelungen. So sind beispielsweise Photovoltaikanlagen von einer Begrenzung des Cadmiumanteils in Elektro- und Elektronikgeräten ausgenommen [31].

Bei der Herstellung von Isolierglasscheiben werden Silikondicht- und -klebstoffe eingesetzt. Je nach verwendetem Silikonsystem wird beim Aushärten 2-Butanonoxim (Methylethylketoxim – MEKO) freigesetzt,

dieser Prozess kann mehrere Tage andauern. Einige Stunden nach der Verarbeitung liegen die Expositionswerte etwa zehnmal höher als bei der Verarbeitung. MEKO steht im Verdacht, krebserzeugend beim Menschen zu sein, eine Höherstufung des krebserzeugenden Potenzials in die Kategorie 1B (wahrscheinlich krebserzeugend beim Menschen) ist zu erwarten. Eine Substitution von MEKO durch Alkoxysysteme ist daher im Einzelfall zu prüfen. Bei diesen werden lediglich Ethanol und Methanol beim Härten freigesetzt [28].

Die Feuerfestindustrie verwendet zur Herstellung hitzebeständiger Steine und Platten Teerpeche, die durch Pyrolyse entstehen. Pyrolyseprodukte werden durch eine thermochemische Spaltung von organischem Material (Steinkohle, Braunkohle, Öl, Holz) gewonnen. Durch die destillative Auftrennung der Pyrolyseprodukte entstehen Destillate und Peche. Bei Tätigkeiten mit Pyrolyseprodukten aus organischem Material besteht für Beschäftigte eine Exposition gegenüber einem komplexen Gemisch aus polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK). PAK sind krebserregend durch Inhalation und zudem hautresorptiv und können Hautkrebs hervorrufen. Darüber hinaus sind sie durch UV-Licht sensibilisierende Stoffe und können daher in Verbindung mit Sonnenlichtexposition zu einer Überempfindlichkeit der Haut führen. Bei der Herstellung pechhaltiger feuerfester Steine ist in einigen Bereichen mit einer Überschreitung der Toleranzkonzentration für Benzo[a]pyren (BaP), der Bezugssubstanz für Pyrolyseprodukte, zu rechnen. Die Akzeptanzkonzentration für BaP kann anlagen- und verfahrensbedingt nur in wenigen Teilbereichen der Anlagen (etwa in Leitständen) eingehalten werden [32].

Schließlich ist in der Keramik- und Glasindustrie auch eine Gefährdung durch die Exposition gegenüber Blei und seinen Verbindungen bei einer Vielzahl von Tätigkeiten anzunehmen, wie beim Herstellen und Bearbeiten von Bleikristall und Kristallglas, Anrichten und Einlegen von Gemenge, Schleifen von Bleikristall, Herstellen bleihaltiger Spezialgläser, Herstellen von Spezialkeramik, Herstellen und Verarbeiten von bleihaltigen Glasuren, Siebdruckpasten,

Beschichtungs- und Anstrichstoffen, Entfernen bleihaltiger Beschichtungsstoffe und Farben [33]. Blei ist von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) aufgrund tierexperimenteller Befunde als Kanzerogen der Gruppe 2 eingeordnet, einzelne Bleiverbindungen sind als krebverdächtig notifiziert, zudem kann Blei möglicherweise co-mutagen wirken [34].

### 3. Gesellschaftliche Entwicklungen

Schon heute zeichnet sich in Deutschland ein teilweise gravierender Fachkräftemangel ab, insbesondere im Bereich Ingenieurswesen und Technik, der sich zu einer Wachstumsbremse der Wirtschaft entwickeln kann. Dieser Trend wird durch den demografischen Wandel verschärft und wird etwa ab dem Jahr 2020 noch deutlicher zutage treten, da zu diesem Zeitpunkt die ersten geburtenstarken Jahrgänge vermehrt in den Ruhestand treten werden. Mit dem demografischen Wandel und dem Ausscheiden vieler Fachkräfte droht auch ein drastischer Wissensverlust – einerseits in fachlichen Belangen, aber auch in Bezug auf die Kompetenzen hinsichtlich Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz.

Im Berufsfeld „Rohstoffe, Glas und Keramik“ gab es im September 2014 in zwei von sechs Berufsgattungen Engpässe. Sowohl in der Baustoffherstellung als auch der Steinmetztechnik waren Fachkräfte mit abgeschlossener Berufsausbildung knapp. Beschäftigte in diesen Engpassberufen fanden sich allerdings fast ausschließlich in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU). Offensichtlich sind diese für viele weniger attraktiv als Großkonzerne. Außerdem verzeichnet das Branchenfeld einen verhältnismäßig hohen Anteil älterer Menschen: 37 % aller Beschäftigten waren im Dezember 2013 mindestens 50 Jahre alt. Somit ist in den kommenden Jahren von einem überdurchschnittlich hohen Ersatzbedarf auszugehen [35].

Der Bedarf an einer hohen Qualifizierung in der Glasindustrie ist bereits seit einiger Zeit evident: Der Anteil der Fachkräfte mit einer Berufsausbildung im dualen System hat zwischen 2000 und 2011 von 61,6 % auf 65,9 % zugenommen, auch der Anteil der

Hochschulabsolventinnen und -absolventen stieg von 2000 bis 2007 und stabilisierte sich dann bei 6,8 %. Während sich insgesamt der Anteil dieser Fachkräfte von 67,7 % im Jahr 2000 auf 72,7 % im Jahr 2011 erhöhte, ging der Anteil der an- und ungelerten Beschäftigten von 32,3 % auf 27,3 % zurück [36].

Die Anforderungen an die Kenntnisse und Fähigkeiten der Fachkräfte werden weiter ansteigen. Gefragt sind Hochqualifizierte, Hochschulabsolventinnen und -absolventen wie Ingenieurinnen und Ingenieure verschiedener Fachrichtungen, aber auch Fachleute in Marketing und Vertrieb und künftig auch verstärkt Facharbeiterinnen und -arbeiter. Die zunehmende Automatisierung, Flexibilisierung und erhöhte Umrütfrequenzen erfordern ein hohes Fachwissen und eine immer höhere Spezialisierung. Insbesondere für viele spezifische Tätigkeiten in Instandhaltung und automatisierter Fertigung (Leitstand, Umrüstvorgänge, Qualitätssicherung) ist eine Ausbildung im Bereich Industriemechanik, Mechatronik, Elektronik oder Verfahrensmechanik Glastechnik erforderlich. Speziell in der Behälterglasindustrie ist die Umbau-Flexibilisierung wegen der häufigen Sortenwechsel wichtig geworden, und künftig werden Umrüstvorgänge noch an Bedeutung gewinnen. Durch die Notwendigkeit, jederzeit flexibel lieferfähig zu sein, wird der Bedarf an gut ausgebildetem Personal in der Glashütte wachsen [36].

Es gibt unterschiedliche Gründe, die es für viele Unternehmen der Glasindustrie schwierig machen, Fachkräfte und geeignete Auszubildende zu rekrutieren, beispielsweise die starke Konkurrenz anderer Industriebranchen, in denen es keine vollkontinuierliche Schichtarbeit gibt und/oder in denen die Bezahlung besser ist oder auch ein negatives Image der Branche. Häufig bevorzugen besonders die Hochqualifizierten die großen Arbeitgeber der Automobil-, IT- und Elektroindustrie [36].

Aus Sicht der Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit ist diese Entwicklung besorgniserregend. Ein Defizit an Fachkräften erhöht die Arbeitslast der vorhandenen Belegschaft, der Zeit- und Leistungsdruck wächst. So erfordert beispielsweise die Einarbeitung von unzureichend ausgebildeten

Kräften einen hohen Zeitaufwand, der zusätzlich zu leisten ist. Diese Arbeitsverdichtung geht mit hohen psychischen und physischen Belastungen einher, zudem steigt das Risiko für Fehler und Unfälle durch Konzentrationsmängel oder Überforderung. Auch eine erhöhte Zahl nur gering qualifizierter oder ungenügend eingewiesener Beschäftigter stellt eine erhebliche Unfallgefahr dar, die in Zukunft noch sehr viel präzenter wird, falls der Fachkräftemangel nicht eingedämmt werden kann.

#### 4. Neue Technologien

Im Zuge der voranschreitenden Entwicklung zur Industrie 4.0 ist auch Glas heute ein „smarter“ Hightech-Produkt geworden: Es unterscheidet multifunktional zwischen

sich mit dem Einsatz von Dünnglas in der Architektur sowie mit der additiven Fertigung mit Glas (3D-Druck) [37]. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass in großen Teilen der Glasindustrie die Tendenz zur Digitalisierung zunimmt und die Automatisierungsprozesse inklusive Steuerung und Vernetzung immer komplexer werden. Mittelfristig sind Automatisierungslösungen für den Gesamtherstellungsprozess anvisiert: In der Glasindustrie 4.0 werden Automaten zu intelligenten Maschinen, die sich eigenständig steuern, untereinander vernetzt sind und fortwährend miteinander kommunizieren, indem sie Daten austauschen [38].

Auch in der Keramikindustrie hat sich in den letzten Jahren eine auf hoher Qualitätsstufe stehende Produktion entwickelt, die einen hohen Digitalisierungsgrad aufweist.

---

„Mit der Entwicklung zur Industrie 4.0 ist auch Glas heute ein „smarter“ Hightech-Produkt.“

---

Licht und Schatten, kann Energie erzeugen und Wärme regulieren. Die aktuellen Trends rund um das Thema Glas sind zahlreich: Die Glasfassaden der Zukunft, etwa integrierte Systeme im Glaszwischenraum oder schaltbare Gläser (Liquid Crystal-Glas), können Licht und Energiedurchlass individuell steuern und optimieren auf diese Weise Sonnen-, Blend- und Sichtschutz und die Energieeffizienz. Plusenergiefassaden bieten Photovoltaik-Anlagen mit Latentwärmespeichern bzw. Solarthermie oder Photobioreaktoren aus Glas. Das Spektrum an Fassadenkonzepten erweitert sich ständig: gebogene Gläser und gefaltete Geometrien, „Glasbacksteine“, Dünngläser sowie beheizbare Elemente [37].

In der Kommunikations- und Unterhaltungselektronik sind gehärtete Gläser für Smartphones und Touchscreens gefragter denn je. Dabei erfordern beispielsweise thermisch vorgespanntes Dünnglas oder Funktionsgläser exakte technische Vorgaben bei der Produktion, ständige Qualitätskontrollen und stabile, reproduzierbare Produktionsprozesse. Die Glasforschung beschäftigt

Der Trend geht von der Massenproduktion hin zum Angebot von Know-how-intensiven Produkten und Werkstoffen. Die Prozessgeschwindigkeit steigt zunehmend und man entwickelt Industrie 4.0-Konzepte, um die Energie- und Ressourceneffizienz besonders in der Grobkeramik zu verbessern [39]. Die Prozesserfassung erfolgt mit neuer Sensorik (Sensorik 4.0), Fertigungsprozesse werden simuliert und zukünftig adaptiv gesteuert. Es gibt neuartige Methoden der Datenintegration, immer mehr Konstruktions- und Simulationsanwendungen (Simultaneous Engineering) sowie generative Fertigungsverfahren wie den 3-D-Druck. Darüber hinaus halten im Bereich der innovativen Einzel- und Kleinserienfertigung Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme Einzug, mit dem Ziel kürzerer, verbindlicher Liefertermine durch die effiziente Organisation einer variantenreichen Produktion [40].

Diese Innovationstendenzen und die steigende Vernetzung von Prozessen in der Keramik- und Glas-Branche und die dadurch komplexer werdende Bedienung

von Systemen, Maschinen und Anlagen stellen für die Beschäftigten eine hohe Beanspruchung dar, zumal auch ein steigender Informationsumfang mit diesen technologischen Entwicklungen einhergeht. Es kann zur Überforderung durch unübersichtliche Software kommen, besonders bei mangelnder Gebrauchstauglichkeit, hohem Zeit- und Leistungsdruck und zunehmender Arbeitsverdichtung. Immer kürzere Lebenszyklen von Programmen und Arbeitsabläufen zwingen die Beschäftigten in der Herstellung, sich in sehr engen Zeitabständen auf neue Produktionsschritte einzustellen und immer wieder neu zu lernen. Auch das Personal außerhalb von Produktion und Fertigung wird künftig mit komplexen Systemen und Abläufen konfrontiert sein: Autonome Softwaresysteme sind anvisiert und sollen in Zukunft betriebsübergreifend und rechtsverbindlich menschliches Handeln ersetzen – bei der gesamten Produktion und Auftragsabwicklung [37].

Ungünstig gestaltete oder hochkomplexe Bedienelemente oder Mensch-Maschine-Schnittstellen können Stress auslösen, und dieser Anspannungszustand kann sich wiederum auf objektiv messbare Körperfunktionen auswirken: Blutdruck, Puls, Atmung, Zucker- und Fettkonzentration im Blut, Adrenalin-, Noradrenalin- und Cortisolausschüttung usw. [41]. Auch eine psychische Ermüdung stellt eine wesentliche Folge von unergonomisch gestalteter und (unnötig) komplizierter Soft- und Hardware dar. Dabei steigt die erforderliche Anstrengung in Relation zur Leistung, die Fehlerhäufigkeit nimmt zu, ebenso wie das Risiko für (schwere) Unfälle – besonders in der Fertigung und Produktion.

## 5. Fazit

Die Glas- und Keramik-Branche ist eine zukunftsgerichtete Branche, die in großen Teilen bereits mit High-Tech-Entwicklungen arbeitet und einen hohen Digitalisierungsgrad aufweist, auch wenn der Stellenwert der Digitalisierung in den einzelnen Unternehmen stark divergiert. Die Digitalisierung beschleunigt vor allem die Automatisierung der Produktion. Daher ist zu erwarten, dass in den kommenden Jahren die Einfacharbeit

in den betroffenen Bereichen weiter abnehmen wird. Stattdessen sind anspruchsvollere Aufgaben wie Umsetzung, Wartung und Instandhaltung der automatisierten Prozesse bzw. Anlagen – bis hin zum selbstlernenden Produktionsbetrieb – von den Beschäftigten zu leisten. Auch kommen neue Verfahren hinzu – beispielsweise die additive Fertigung. Die Digitalisierung und Automatisierung verlangen von den Beschäftigten durchweg ein ausgeprägtes Systemverständnis und Aufgabenflexibilität [42]. Diese Anforderungen können eine starke psychische Belastung bedeuten und zu einer Überforderung der Menschen führen, insbesondere bei einer ohnehin hohen Arbeitsbelastung.

Als innovationsfreudige Hightech-Industrie, die zudem sehr aktiv in Forschung und Entwicklung agiert [43], ist die Glas- und Keramik-Branche weitgehend von der aktuellen demografischen Entwicklung, der unausgewogenen Altersstruktur sowie dem Mangel an (hoch)qualifizierten Fachkräften betroffen, die benötigt werden, um neue Technologien zu implementieren und die Automatisierungsprozesse zu gestalten. Ein reduzierter Personaleinsatz hemmt nicht nur die wirtschaftliche Entwicklung, sondern fördert die Arbeits- bzw. Leistungsverdichtung und kann zu psychischen Belastungserscheinungen oder sogar zu Burn-out-Symptomen führen [36]. Auch die Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz können durch eine zu dünne Personaldecke oder unzureichend ausgebildetes Personal bedroht sein.

Auch wenn die Digitalisierung die Glas- und Keramik-Produktion immer stärker beeinflusst und sich die Tätigkeiten zunehmend in Richtung Steuerung, Disposition und Kontrolle von Prozessen verschieben, zeigt sich auch noch eine andere Seite der Branche, in der die herkömmlichen Risiken für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten auch in der nahen Zukunft prägend bleiben. Hierzu gehören körperlich belastende Tätigkeiten wie das häufige Heben schwerer Lasten, die erhebliche Lärmeinwirkung, das Arbeiten bei großer Hitze sowie die Exposition gegenüber einer Reihe von kanzerogenen oder mutagenen Gefahrstoffen. Alle diese Belastungsfaktoren sind zwar hinlänglich bekannt, erfordern aber dennoch weiterhin eine passgenaue

Präventionsarbeit, da sie – auch in ihrer Kombination – Gesundheitsschäden verursachen oder Unfallursache sein können.

Für die Zukunft ist zu erwarten, dass Gefahrstoffe in verstärktem Maße substituiert werden können und sich neue, stärker automatisierte und/oder leisere Produktionsverfahren etablieren werden. Bis dahin wird sich die Glas- und Keramikindustrie wohl weiterhin als „Zwei-Welten-Branche“ darstellen – im Spannungsfeld zwischen Automatisierung einerseits und vielen unveränderlichen Verfahren und Einsatzstoffen andererseits. ◀

## Literatur

- [1] Sozialpartner forcieren zukunfts-fähige Gestaltung der Glasbranche. Hrsg.: BAGV GLAS+SOLAR / IG BCE\*, München / Hannover 2017. [https://www.bagv.de/fileadmin/user\\_upload/Presse/Pressemitteilung\\_-\\_Sozialpartner\\_forcieren\\_zukunftsf%C3%A4hige\\_Gestaltung\\_der...pdf](https://www.bagv.de/fileadmin/user_upload/Presse/Pressemitteilung_-_Sozialpartner_forcieren_zukunftsf%C3%A4hige_Gestaltung_der...pdf) (abgerufen am 18.6.2018)
- [2] Glasindustrie - Längst mehr als Flasche und Fenster. Hrsg.: IG BCE - Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie, Hannover 2016. <https://www.igbce.de/arbeit/branchen/glas/glas/8910?highlightTerms=&back> (abgerufen am 14.6.2018)
- [3] Keramische Industrie - Heterogene Branche. Hrsg.: IG BCE - Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie, Hannover 2017. <https://www.igbce.de/arbeit/branchen/keramik/keramik/8944> (abgerufen am 14.6.2018)
- [4] Anzahl der Unternehmen in der Branche Herstellung von Glas-, Keramik- und Steinwaren in Deutschland in den Jahren 2005 bis 2017. Hrsg.: Statista GmbH, Hamburg 2018. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/259512/umfrage/unternehmen-in-der-branche-herstellung-von-glas-keramik-und-steinwaren/> (abgerufen am 12.6.2018)
- [5] Prävention und Arbeitsgestaltung für ein langes Arbeitsleben im Kontext besonders belastender Berufe. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund 2016. [https://esf.brandenburg.de/media\\_fast/667/Richter\\_Potsdam%20160601.pdf](https://esf.brandenburg.de/media_fast/667/Richter_Potsdam%20160601.pdf) (abgerufen am 18.6.2018)
- [6] Glas und Keramik - Statistik. Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg 2017. [http://www.vbg.de/DE/3\\_Praevention\\_und\\_Arbeitshilfen/1\\_Branchen/07\\_Glas\\_und\\_Keramik/1\\_Themen-schwerpunkte/1\\_3\\_Statistik/statistik\\_node.html](http://www.vbg.de/DE/3_Praevention_und_Arbeitshilfen/1_Branchen/07_Glas_und_Keramik/1_Themen-schwerpunkte/1_3_Statistik/statistik_node.html) (abgerufen am 12.6.2018)
- [7] Meldepflichtige Arbeitsunfälle je 1.000 Vollarbeiter nach Bereich und Berufsgenossenschaft. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin 2018. <https://www.dguv.de/de/zahlen-fakten/au-wu-geschehen/au-1000-vollarbeiter/index.jsp> (abgerufen am 9.7.2018)
- [8] Arbeitsunfälle und Berufskrankheiten - Rückläufige Zahlen. Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg 2014. [http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2015/39247/pdf/GlasKeramik\\_4\\_14.pdf](http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2015/39247/pdf/GlasKeramik_4_14.pdf) (abgerufen am 9.7.2018)

- [9] Persönliche Mitteilung: BK-Statistik zu Glas-Keramik-Branche. Schneider, S. (2018)
- [10] Prämienkatalog ab 2018 - Unternehmen der Glas-Industrie, Grobkeramik, Feinkeramik. Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg 2017. [http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Praemienverfahren/Praemienkatalog\\_Glas\\_und\\_Keramik\\_2018.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Praemienverfahren/Praemienkatalog_Glas_und_Keramik_2018.pdf?__blob=publicationFile&v=2) (abgerufen am 25.6.2018)
- [11] Arbeiten an IS-Maschinen - Schweißstreibend und laut. Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg 2014. [http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2014/30026/pdf/GlasKeramik\\_2\\_14.pdf](http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2014/30026/pdf/GlasKeramik_2_14.pdf) (abgerufen am 24.7.2018)
- [12] Arbeits- und Gesundheitsschutz bei der Veredelung von Hohlglas. Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg 2010. [http://www.glas-apparatebau.de/intern/sicherheit/VBG/Hohlglas\\_Veredelung-Arbeits\\_und\\_Gesundheitsschutz\\_Glas\\_Keramik\\_Fachinformationsblatt.pdf](http://www.glas-apparatebau.de/intern/sicherheit/VBG/Hohlglas_Veredelung-Arbeits_und_Gesundheitsschutz_Glas_Keramik_Fachinformationsblatt.pdf)
- [13] Lärmschutz - Gezielt gegen Lärm. Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg 2013. [http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2013/24593/pdf/GlasKeramik\\_4\\_13.pdf](http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2013/24593/pdf/GlasKeramik_4_13.pdf) (abgerufen am 24.7.2018)
- [14] Hitze in der Glasindustrie - Kühlen Körper bewahren. Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg 2012. [http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2012/15790/pdf/Sicherheitsreport\\_Spezial\\_der\\_VBG\\_Glas\\_Keramik\\_Ausgabe\\_05\\_2012.pdf](http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2012/15790/pdf/Sicherheitsreport_Spezial_der_VBG_Glas_Keramik_Ausgabe_05_2012.pdf?bcsi_scan_9222d36c6a354dc6=0&bcsi_scan_filename=Sicherheitsreport_Spezial_der_VBG_Glas_Keramik_Ausgabe_05_2012.pdf) (abgerufen am 18.6.2018)
- [15] Hitzearbeit - erkennen - beurteilen - schützen. Hrsg.: Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM), Mainz 2013. <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bgi579.pdf> (abgerufen am 13.6.2018)
- [16] Infrarotstrahlung - Die unsichtbare Gefahr. Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg 2013. [http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2013/24593/pdf/GlasKeramik\\_4\\_13.pdf](http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2013/24593/pdf/GlasKeramik_4_13.pdf) (abgerufen am 18.6.2018)
- [17] Ratgeber zur Ermittlung gefährdungsbezogener Arbeitsschutzmaßnahmen im Betrieb. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BauA), Dortmund 2004. <http://www.ruecken.gesundheitsdienstportal.de/cdraig/08-rec/pdf/s42.pdf> (abgerufen am 25.6.2018)
- [18] Sichere Bedienung einer ungewöhnlichen Maschine. Hrsg.: Berufsgenossenschaft der keramischen und Glas-Industrie, Würzburg 2008. <https://docplayer.org/78361045-Keramik-glas-arbeitsmedizinisches-kolloquium-2007-der-arbeitsschutztausschuss-haftung-bei-arbeitsunfaellen-d-januar-nr.html> (abgerufen am 26.7.2018)
- [19] Ergonomieprojekt bei Villeroy & Boch -, „Wir arbeiten jetzt produktiver und gesünder“. Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg 2014. [http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2015/39247/pdf/GlasKeramik\\_4\\_14.pdf](http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2015/39247/pdf/GlasKeramik_4_14.pdf) (abgerufen am 30.7.2018)
- [20] Muskel-Skelett-Belastungen - Planung ist die beste Prävention. Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg 2013. [http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2013/24593/pdf/GlasKeramik\\_4\\_13.pdf](http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2013/24593/pdf/GlasKeramik_4_13.pdf) (abgerufen am 18.6.2018)
- [21] TRGS 559 Mineralischer Staub. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BauA), Dortmund 2011. <https://www.bgbau.de/gisbau/fachthemen/recht/downloads/TRGS-559.pdf> (abgerufen am 2.7.2018)
- [22] Neue Grenzwerte Gefährdung durch Nickel und seine Verbindungen. Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg 2017. [http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Faltblatt/Certo/GlasKeramik\\_2-2017.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Faltblatt/Certo/GlasKeramik_2-2017.pdf?__blob=publicationFile&v=1) (abgerufen am 21.6.2018)
- [23] TRGS 561 Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen und ihren Verbindungen. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BauA), Dortmund 2017. [https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-561.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-561.pdf?__blob=publicationFile&v=4) (abgerufen am 2.8.2018)
- [24] Positionspapier zum Vorschlag einer harmonisierten Einstufung von Titandioxid. Hrsg.: Bundesverband der Deutschen Industrie e. V. (BDI), Berlin 2017. [https://bdi.eu/media/user\\_upload/20170524\\_Positionspapier\\_BDI\\_Titandioxid.pdf](https://bdi.eu/media/user_upload/20170524_Positionspapier_BDI_Titandioxid.pdf) (abgerufen am 2.8.2018)
- [25] Regel 3: So weit wie möglich in geschlossenen Anlagen arbeiten! Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg 2009. [http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2011/10263/pdf/glas\\_keramik\\_6\\_2009\\_finale.pdf](http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2011/10263/pdf/glas_keramik_6_2009_finale.pdf) (abgerufen am 31.7.2018)
- [26] Regel 10: Bei staubintensiven Arbeiten Atemschutz benutzen! Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg 2010. [http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2011/10254/pdf/spezial\\_gk\\_05\\_10.pdf?bcsi\\_scan\\_e09ff2199bb3916e=0&bcsi\\_scan\\_filename=spezial\\_gk\\_05\\_10.pdf](http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2011/10254/pdf/spezial_gk_05_10.pdf?bcsi_scan_e09ff2199bb3916e=0&bcsi_scan_filename=spezial_gk_05_10.pdf) (abgerufen am 31.7.2018)
- [27] Substitution - Hydrazin kann ersetzt werden. Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg 2016. [http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2016/52059/pdf/GlasKeramik\\_2\\_2016.pdf](http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2016/52059/pdf/GlasKeramik_2_2016.pdf) (abgerufen am 30.7.2018)
- [28] Gefahrstoffe - Neue Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg 2018. [http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Faltblatt/Certo/VBG-Spezial\\_Glas-und-Keramik\\_2-2018.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Faltblatt/Certo/VBG-Spezial_Glas-und-Keramik_2-2018.pdf?__blob=publicationFile&v=4) (abgerufen am 14.5.2018)
- [29] Herstellung von Solarzellen - „Für gut ausgebildetes Fachpersonal besteht keine Gefahr“. Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg 2012. [http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2012/17087/pdf/Spezial\\_GK\\_06\\_12.pdf](http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2012/17087/pdf/Spezial_GK_06_12.pdf) (abgerufen am 18.6.2018)
- [30] Stoffbezogene Anforderungen an Photovoltaik-Produkte und deren Entsorgung. Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin 2004. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2789.pdf> (abgerufen am 2.7.2018)
- [31] Photovoltaik - Die giftige Seite der Sonnenenergie. Hrsg.: Handelsblatt, Düsseldorf 2015. <https://www.handelsblatt.com/technik/zukunftderenergie/photovoltaik-die-giftige-seite-der-sonnenenergie/11346420.html?ticket=ST-456066-hHrnqF-b6uS0ogSOFjPEc-ap4> (abgerufen am 1.8.2018)
- [32] Schutzmaßnahmen bei der Herstellung von pechgebundenen und -getränkten Steinen. Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg 2017. [http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Faltblatt/Certo/GlasKeramik\\_2-2017.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Faltblatt/Certo/GlasKeramik_2-2017.pdf?__blob=publicationFile&v=1) (abgerufen am 21.6.2018)
- [33] Blei und bleihaltige Gefahrstoffe. Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg 2017. [http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Branchen/Glas\\_und\\_Keramik/Blei\\_und\\_bleihaltige\\_Gefahrstoffe\\_Glas\\_Keramik\\_Fachinformationsblatt.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Branchen/Glas_und_Keramik/Blei_und_bleihaltige_Gefahrstoffe_Glas_Keramik_Fachinformationsblatt.pdf?__blob=publicationFile&v=8) (abgerufen am 13.6.2018)
- [34] Blei und anorganische Bleiverbindungen. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BauA) - Ausschuss für Gefahrstoffe - AGS-Geschäftsführung, Dortmund 2017. [https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/903/903-blei.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/903/903-blei.pdf?__blob=publicationFile&v=3) (abgerufen am 14.6.2018)
- [35] Fachkräftengpässe in Unternehmen: Die Altersstruktur in Engpassberufen. Hrsg.: Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V., Köln 2014. [https://www.kofa.de/fileadmin/Datensite/Publikationen/Studien/Fachkräftengpässe\\_in\\_Unternehmen\\_2015\\_Die\\_Alterstruktur\\_in\\_Engpassberufen.pdf](https://www.kofa.de/fileadmin/Datensite/Publikationen/Studien/Fachkräftengpässe_in_Unternehmen_2015_Die_Alterstruktur_in_Engpassberufen.pdf) (abgerufen am 14.6.2018)
- [36] Glasindustrie in Deutschland - Eine Branchenanalyse. Hrsg.: Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IG BCE), Hannover 2014. <https://www.igbce.de/vanity/renderDownloadLink/8214/70908> (abgerufen am 20.6.2018)
- [37] Glas innovativ denken. Hrsg.: Verlagsanstalt Handwerk GmbH Düsseldorf 2017. <http://www.glas-rahmen.de/aktuelle-meldungen/21884-glas-innovativ-denken.html> (abgerufen am 15.6.2018)
- [38] Glasindustrie 4.0 - Automatisierung und intelligente Steuerungstechnik. Hrsg.: Verlagsanstalt Handwerk GmbH Düsseldorf 2016. [http://www.glas-rahmen.de/images/beitraege/glasrahmen/fachartikel/2016\\_februar\\_S32-35.pdf](http://www.glas-rahmen.de/images/beitraege/glasrahmen/fachartikel/2016_februar_S32-35.pdf) (abgerufen am 15.6.2018)
- [39] ceramitec 2018: Effiziente Innovationen in der Grobkeramik. Hrsg.: Messe München GmbH, München 2018. <https://www.ceramitec.com/presse/newsroom/presseinformationen/ceramitec-2018-effiziente-innovationen-in-der-grobkeramik.pdf> (abgerufen am 6.7.2018)
- [40] Digitalisierung und Industrie 4.0 - Technik allein reicht nicht. Hrsg.: Michael Vassiliadis, Hannover 2017. [https://www.boeckler.de/pdf\\_fof/99408.pdf](https://www.boeckler.de/pdf_fof/99408.pdf) (abgerufen am 6.7.2018)
- [41] Psychische Belastungen aus unergonomischen Arbeitsmitteln. Hrsg.: Ergo-T.I.M.E. [http://www.iaw.uni-bremen.de/ergo-time/psyche/5bpsy\\_mittel.htm](http://www.iaw.uni-bremen.de/ergo-time/psyche/5bpsy_mittel.htm) (abgerufen am 6.2.2018)
- [42] Digitalisierung der Industrie (Industrie 4.0) - Tiefgreifender Wandel von Prozessinnovationen, Arbeitsorganisation, Arbeitsbedingungen und Qualifizierung. Hrsg.: Hans-Böckler-Stiftung Düsseldorf 2017. [https://www.boeckler.de/pdf\\_fof/99350.pdf](https://www.boeckler.de/pdf_fof/99350.pdf) (abgerufen am 16.7.2018)
- [43] ceramitec-Branchenbarometer: Keramik- und Pulvermetallurgiebranche im Investitionsfieber. Hrsg.: Messe München GmbH, München 2018. <https://www.ceramitec.com/presse/newsroom/presseinformationen/ceramitec-branchenbarometer-keramik-und-pulvermetallurgiebranche-im-investitionsfieber.pdf> (abgerufen am 7.8.2018)

# Erster Erfahrungsbericht: Das Duale Studium in Höhr-Grenzhausen

Im Betrieb die Praxis, an der Hochschule die Theorie: Im letzten Jahr starteten die ersten dual Studierenden am WesterWaldCampus in Höhr-Grenzhausen mit dieser besonderen Art des Studiums. Im Gespräch mit Daniel Tischer, Leiter der Qualitätssicherung bei Horn & Co. Minerals Recovery, und der dual Studierenden Michelle Neuser ist es nun Zeit, eine erste Zwischenbilanz zu ziehen. Es gilt zu erfahren, ob das Ausbildungskonzept den Erwartungen des Unternehmens und der Studentin gerecht wird und beide Seiten es weiterempfehlen können.

**Hochschule Koblenz:** Herr Tischer, die Horn & Co. Group gehört zu den ersten Unternehmen, die sich dazu entschieden haben, eine Mitarbeiterin zum Studium der Werkstofftechnik Glas & Keramik nach Höhr-Grenzhausen zu entsenden. Welche Gründe waren ausschlaggebend für diese Entscheidung?

**Daniel Tischer:** Es ist nicht gerade einfach, gut qualifiziertes Personal auf dem freien Arbeitsmarkt zu finden. Daher ist es für mich wichtig, vorausschauend zu planen. Aufgrund der Vielfalt an Produkten aus unserem Haus und den damit einhergehen-

den vielen verschiedenen Kriterien auf die es zu achten gilt, kann eine Position in der Qualitätssicherung nur von einer Person mit fachlicher Kompetenz und beruflicher Erfahrung besetzt werden. Wir bilden Frau Neuser also mit einer ganz konkreten Stellenperspektive weiter.

**Warum ist ihre Entscheidung auf Frau Neuser gefallen? Wie gestaltete sich der Auswahlprozess?**

**Daniel Tischer:** Frau Neuser hat bereits eine Ausbildung zur Baustoffprüferin mit dem Schwerpunkt Geotechnik bei Horn &

Co Analytics absolviert. Wir kennen ihr Engagement und ihre sozialen Kompetenzen. In der Ausbildung und der darauffolgenden Arbeit im Unternehmen konnte sie beweisen, dass sie die Fähigkeiten und das Interesse für ein Studium der Werkstofftechnik mitbringt. Da ich den Campus in Höhr-Grenzhausen selbst sehr gut kenne, habe ich mit der Geschäftsführung gemeinsam entschieden, dass das duale Studium der optimale Weg für Frau Neuser sein könnte, ihre fachlichen Kompetenzen zu entwickeln, um später eine Position mit Verantwortung im Unternehmen einzunehmen.

**Frau Neuser, aus dem Arbeitsleben ins Studium, ist ihnen das schwer gefallen?**

**Michelle Neuser:** Natürlich ist es ein großer Schritt für mich, aus meiner gewohnten Umgebung und meinem Arbeitsumfeld herauszutreten, aber ich bin froh, mich für diesen Weg entschieden zu haben.

Ich fühle mich sehr wohl am Campus. Durch die familiäre Atmosphäre und individuelle Betreuung habe ich das Gefühl, wirklich gut aufgehoben zu sein. Zuerst hatte ich Bedenken, weil ich mit einem Hauptschulabschluss in die Ausbildung gestartet bin. Über die Ausbildung habe ich dann mein Fachabitur erlangt. Ich habe mir wirklich Gedanken darüber gemacht, dass es zu schwer für mich werden könnte.

**Und? Wie hat es sich für sie entwickelt in den ersten beiden Semestern?**

**Michelle Neuser:** Tatsächlich musste ich mich ziemlich anstrengen in den ersten

## Der Studiengang

Der WesterWaldCampus der Hochschule Koblenz entwickelt den bewährten Bachelor-Studiengang Werkstofftechnik Glas & Keramik zu einem dualen Studiengang „Werkstofftechnik Glas und Keramik dual“ weiter. Der Studiengang beinhaltet zwei integrierte Praxisphasen im dritten und sechsten Semester, die fest im Curriculum verankert sind. Der duale Studiengang richtet sich vor allem an Unternehmen, die qualifizierten Mitarbeitern ein praxisnahes Studium ermöglichen möchten und dennoch eine hohe Präsenzzeit im Unternehmen wünschen. Studierende erlangen den Abschluss „Bachelor of Engineering“ nach einer Dauer von acht Semestern. Die Absolventen werden zum selbständigen, ingenieurwissenschaftlichen Arbeiten auf Grundlage technischer und naturwissenschaftlicher Erkenntnisse in der betrieblichen Praxis ausgebildet. Zugangsvoraussetzung für den Studiengang ist eine Allgemeine Hochschulreife, Fachgebundene Hochschulreife, Fachhochschulreife oder eine Berufsausbildung mit einer Abschlussnote von mindestens 2,5 und einem Nachweis einer zweijährigen Berufstätigkeit.

Am Donnerstag, 21. November 2019, findet von 18.00-19.30 Uhr eine Infoveranstaltung „Theorie trifft Praxis dual“ zum neuen Studiengang im Audimax des WesterWaldCampus (Rheinstraße 56) in Höhr-Grenzhausen statt.



Bild 1 links: Michelle Neuser, rechts: Daniel Tischer (© Klersy/Hochschule Koblenz)

## Horn & Co. Group

Die Horn & Co. Group arbeitet in den Bereichen Aufbereitung, Entsorgung, Kontrolle, Analyse und Vertrieb. Als funktionierendes Netzwerk aus vier Geschäftsbereichen „Steel Services“, „Minerals Recovery“, „Products“ und „Analytics“ verfolgt sie das Ziel, einen geschlossenen Materialkreislauf im Rahmen der Rohstoffwiederverwertung zu realisieren. Das Unternehmen mit Sitz in Siegen-Weidenau besteht bereits seit 1922.

Klausuren. Aber wir wurden bestmöglich durch unsere Professoren und Kommilitonen unterstützt. Es gibt Lerngruppen und man kann natürlich auch mal im Unternehmen nachfragen, wenn etwas unklar ist. Das ist ein großer Vorteil, den ich gegenüber den anderen Studierenden habe. Auch das praktische Arbeiten in den Laboren kommt mir natürlich durch meine Arbeitserfahrung entgegen.

### Welche Vor- und Nachteile hat das duale Studium ihrer Meinung nach?

**Michelle Neuser:** Ein riesiger Vorteil ist natürlich, dass ich weiterhin bei der Firma Horn angestellt bin und ein Gehalt bekomme. Das Unternehmen trägt die gesamten Kosten für das Studium inklusive der Mietkosten, die in der Zeit der Studienphasen entstehen. Ich bin wirklich dankbar, dass mir das ermöglicht wird. Ein wenig wehmütig bin ich natürlich, wenn die

Semesterferien anstehen, da ich in dieser Zeit arbeiten gehe und weniger Freizeit habe, als einige andere meiner Mitstudierenden. Ich sehe es allerdings auch positiv, weil ich ja wieder in meiner gewohnten Umgebung sein kann. Ein weiterer Vorteil ist natürlich, dass ich mir nach dem Studium keinen Job suchen muss. Auch meine Bachelorarbeit werde ich im Unternehmen schreiben.

### Wie ist ihre bisherige Erfahrung mit dem dualen Studium, Herr Tischer?

**Daniel Tischer:** In den ersten beiden Semestern war Frau Neuser oft am Campus und wir hatten weniger mit dem Studium zu tun. Jetzt startet im dritten Semester die erste Praxisphase im Unternehmen, auf die wir alle gespannt sind. Mit Prof. Krause, dem betreuenden Professor von Frau Neuser, wurde bereits vor Ort besprochen, wie dieses halbe Jahr genutzt werden kann. Wir starten mit einer Projektarbeit bei der eine aktuelle Problemstellung der Qualitätssicherung bearbeitet werden soll. Frau Neuser wird sich intensiv mit dem Thema auseinandersetzen können und wird dabei von den Fachleuten des Westerwaldcampus und insbesondere von Prof. Krause unterstützt. Sollte es zu verwertbaren Lösungsansätzen kommen, wäre das auch für das Gesamtunternehmen sehr hilfreich. Frau Neuser wird in dieser Zeit ihr bisher erworbenes Wissen anwenden können.

### Das hört sich so an, als wären beide Seiten bisher zufrieden?

**Michelle Neuser:** Auf jeden Fall.

**Daniel Tischer:** Ja, das kann man so sagen. ◀

# BRANCHEN- VERBUNDEN

Der neue Newsletter  
„Kleb- und Dichttechnik“  
von **adhäsion**



Alle Top-News und Branchen-Highlights aus der Welt der Kleb- und Dichttechnik, regelmäßig in Ihrem Postfach: Bestellen Sie jetzt unseren kostenlosen Newsletter.

Jetzt registrieren:

[www.springerprofessional.de/  
mynewsletters](http://www.springerprofessional.de/mynewsletters)

**adhäsion** KLEBEN+  
DICHTEN

# Ton aus dem Westerwald

Leyla Buchholz<sup>1</sup>

**Kurzfassung:** In unserer Reportagerihe „Unternehmen mit Tradition“ besuchen wir familiengeführte Unternehmen, die in Deutschlands Keramikbranche tätig sind, und stellen im Interview ihre Geschäftsführer vor. Im Sommer waren wir bei der Stephan Schmidt Gruppe mit Sitz im Westerwald, die seit 1947 Tone, keramische Rohstoffe und Mineralprodukte produziert. Das Unternehmen wird mittlerweile in der dritten Generation geführt. Im Interview mit Stephan Schmidt jr., zweiter Geschäftsführender Gesellschafter, sprachen wir über die Nachwuchssituation in der Keramikbranche, die Zusammenarbeit in einem Familienbetrieb und über die Zukunft des Unternehmens.

Die Stephan Schmidt KG liegt ganz idyllisch im grünen Tal mitten im Westerwald in der Gemeinde Dornburg. Doch was dieses Gebiet für das Unternehmen so interessant macht, ist nicht über der Erde zu finden. Der Westerwald, ein deutsches Mittelgebirge, beherbergt 20–40 Millionen Jahre alten Ton aus dem Erdaltertum, als die Landmassen noch unter einem tropisch warmen Meeresarm lagen. Viele Millionen Jahre später baut das Unternehmen hier die Gesteine ab, die im subtropischen Klima verwitterten und heute ein Vorkommen von 400 verschiedenen Spezialtonen bilden – Tone aus dem Westerwald sind deshalb weltweit einmalig. Damit besteht auch eine gewisse Ehrfurcht vor diesem Rohstoff: Die Entstehung von nur einem Meter Tonschicht dauert etwa eine Millionen Jahre. Man möge dies mit folgen-

der Tatsache in Verbindung bringen: Ein Mensch verbraucht in 70 Jahren etwa 29 t Ton. Doch wofür eigentlich, ist den wenigsten bewusst.

## Eine vielseitige Produktpalette

Die Stephan Schmidt KG beliefert mit ihrem Spezialton verschiedenste Industrien. Das Unternehmen gliedert sich in zwei große Geschäftsbereiche: Die Keramikprodukte und die Mineralprodukte. Einige Produkte der Keramiklinie können sofort als Teil unseres alltäglichen Lebens erkannt werden: Beispielsweise Dachziegel und Klinker, größter Abnehmer sind hier die Niederlande. Hintermauersteine fallen schon weniger ins Auge. Aus Herstellersicht sind sie

kein triviales Produkt, denn sie müssen gesetzliche Anforderungen bei dünnen Wandstärken erfüllen. Für die Sanitärkeramik beliefert das Unternehmen den weltweiten Markt in China, Nordafrika, Russland und Osteuropa. Bekannte Marken wie Villeroy & Boch und Duravit arbeiten mit Rohstoffen aus dem Westerwald. Doch der wichtigste Abnehmer des Unternehmens bleibt die italienische Fliesenindustrie mit über 550.000 t Rohstoffen, das ist ein Drittel des Jahresumsatzes. Das Unternehmen liefert damit allein die Hälfte dessen, was insgesamt an Ton von Deutschland nach Italien verkauft wird. Das Endprodukt findet sich im heimischen Badezimmer: Jeder zweite Deutsche hat italienische Fliesen in seinem Bad. Auch nicht unwichtig für die Optik von Sanitärkeramik sind Email, Engobe und Glasur für die kratzfesteste Beschichtung. Aber auch die Firma Miele, beispielsweise für das Innere eines Backofens, und Le Creuset mit dem farbenfrohen Kochgeschirr sind Kunden. Die Anforderungen an die Ausgangsmaterialien sind hier besonders hoch: Nur Rohstoffe mit hoher Reinheit, kontrollierter Korngröße und sehr feine Pulver können verarbeitet werden.

Wirft man einen Blick auf die Fensterbank daheim im Wohnzimmer, steht dort vielleicht Feinsteinzeug, Blumentöpfe. Nicht zuletzt produziert das Unternehmen auch Rohstoffe für Elektroporzellan wie keramische Isolatoren oder keramische Sicherungen für Zuhause und hat auch beim Abwassertransport die Hände im Spiel. Hier verbauen Städte aus Kostengründen mittlerweile gerne Kunststoff- oder Betonrohre. Doch während Beton sich mit der Zeit auf-



**Bild 1** Stephan Schmidt jr. führt in der dritten Generation als Geschäftsführender Gesellschafter seit 2013 die Stephan Schmidt KG. (© Frey)

löst und Kunststoff platzt, überdauert ein Abflussrohr aus Keramik gerne auch 2000 Jahre.

Das zweite Geschäftsfeld, die Mineralprodukte, umfasst einige Erzeugnisse, die auf den ersten Blick nicht unbedingt in den Zusammenhang mit Ton gebracht werden. So ist die Stephan Schmidt KG Aussteller auf der Internationalen Pflanzenmesse in Essen mit ihrer Produktgruppe Florisol, unterschiedlichen Tongranulaten für die gezielte Ernährung von Pflanzen. Einige Tonnen davon gehen beispielsweise nach Taiwan, einem Land mit starkem Bevölkerungswachstum und Bedarf an Ertragssteigerung auf seinen Agrarflächen. Ton ist hier ein hervorragender Dünger und Wasserspeicher und sorgt für die Ausbildung eines feinen Wurzelwerks.

Das Produkt Capsil finden viele, wenn sie an ihrem Büroarbeitsplatz den Blick an die Decke richten. Es handelt sich hierbei um Baustoffe aus gemahlene Spezialtonen, die in Akustikdeckenplatten und gleichzeitig auch für den Brandschutz eingesetzt werden. Hier ist die Feuerfestigkeit von Ton besonders wichtig. Produkte aus anderen Materialien könnten im Brandfall schwinden und dann von der Decke fallen. Ein inte-

ressanter Wachstumsmarkt für die Stephan Schmidt KG sind auch Füllstoffe und Additive. Hierzu werden besonders feine Spezialtonen mit Rückständen nicht größer als 40 µm benötigt.

Mit dem Produkt Concesol stellt die Stephan Schmidt Gruppe einen Betonzusatzstoff nach DIN EN 12620 zur Verfügung. Haupteinsatzgebiete sind Betonwaren, Mörtelsysteme sowie Zementsuspensionen und bauchemische Produkte.

Auch beim Brunnenbau ist die Gruppe dabei. Compactonit sind Tonpellets, die dort eingesetzt werden, wo nach Trinkwasser gebohrt wird und abgedichtet werden muss, damit sauberes von verschmutztem Wasser getrennt werden kann. Das Material wird auch für Schachtverschlüsse im Bergbau eingesetzt, wo gegen Wasser abgedichtet werden muss. Bekannte Projekte sind beispielsweise Stuttgart 21 und der U-Bahn-Tunnelbau in Berlin. Eine weitere Produktreihe (Secursol) wird unter anderem auch eingesetzt, um Deponien abzudichten. Der Ton ist wasserundurchlässig und sorgt dafür, dass keine Flüssigkeiten aus der Deponie nach außen dringen können. Zuletzt beliefert das Unternehmen natürlich auch die Feuerfestindustrie mit ungeformten Feuerfestprodukten.

Hauptsächlich kommen hier aluminiumreiche, eisenarme Tone zum Einsatz, für bestimmte Einsatzzwecke auch Klebsande.

## Die Stephan Schmidt KG und der Westerwald – eng verbunden

Besonders wichtig für die Arbeit des Unternehmens ist auch die Logistik, um die Kunden zuverlässig zu beliefern. Die Stephan Schmidt KG beliefert weltweit über 40 Länder mit 1,6 Mio. t Ton. Die Rohstoffe werden nicht nur per LKW versendet, teilweise verfügt das Unternehmen auch über eigene Anschlüsse an das Gleisnetz. Einige Kunden erhalten ihre Ware über den Wasserweg.

Das Unternehmen ist sich seines Einflusses auf den Lebensraum Westerwald bewusst und möchte eine gute Verbindung zur Bevölkerung aus den umliegenden Gemeinden erhalten. Zur Grube Wimpfsfeld III führt deshalb eine 5 km lange Privatstraße, die das Unternehmen für direkte Lieferwege und zur Umgehung der umliegenden öffentlichen Straßen gebaut hat. Dort in der Grube sind auch nicht selten Kindergarten-, Schul- oder Exkursionsgruppen aus der Universität zu Besuch. „Wir wollen den Bewohnern zei-



**Bild 2** In der Grube Wimpfsfeld III werden jährlich über 200.000 t hellbrennender Ton abgebaut. (© Frey)



**Bild 3** Nur drei Bagger erledigen heute in der Grube die Arbeit von 50-60 Tonstechern, die ihren Beruf früher noch von Hand ausgeführt haben. (© Frey)

gen und erklären, was wir hier machen“, so Stephan Schmidt (Bild 1). Als Rohstoffunternehmen ist die Stephan Schmidt KG sehr eng mit ihrem Standort, dem Westerwald, verbunden. Dabei sind viele Rohstoffvorkommen hier noch unangetastet. Die Unternehmensgruppe besitzt Land, auf dem voraussichtlich noch die nächsten 100 Jahre weiter Ton abgebaut werden kann. Derzeit besteht dort noch Forst- oder Landwirtschaft.

### Hinab in die Grube – Ein Blick in Wimpfsfeld III

Die Aussicht am Rande der Grube Wimpfsfeld III (Bild 2) ist imposant. Sie ist eine von 16 Tongruben, die das Unternehmen im Westerwald betreibt, 20 sind es insgesamt. Die Grube reicht derzeit an ihrer Spitze 70-80 m in die Tiefe. In Wimpfsfeld III wird hellbrennender Ton abgebaut, deutlich erkennbar an den verschiedenen Weißtönen des Rohstoffs. Der bewaldete Berg, der hinter der Grube aufragt, wird in ein paar Jahren Richtung Süden wandern, denn das Unternehmen versetzt bei dem Abbau ganz sprichwörtlich Berge. Über dem Ton liegt eine bis zu 60 m dicke Schutzschicht, der Abraum. Eigentlich eine gute Sache, schließlich hat er die wertvollen Rohstoffe über Millionen von Jahren präserviert. Doch nun ist er vor allem Erdmasse, die zur Seite geschafft werden muss, bevor der Tonabbau beginnen kann.

Drei Bagger bewegen sich auf dem terrassenförmigen Grubenhang. Diese Art des Abbaus verhindert, dass sich Wasser anstaut und einen gefährlichen Erdrutsch auslöst. Ein Bagger wiegt „nur“ 25 t, größer darf er nicht sein, denn für den selektiven Abbau von Ton mit verschiedenen Zusammensetzungen braucht der Fahrer mit der Schaufel das nötige Fingerspitzengefühl. Dort wo das ungelernete Auge vielleicht sieben bis acht unterschiedliche Färbungen in der Grube erkennen kann, sieht er die Nuancen, die für unterschiedlichste Zusammensetzungen des Tons stehen, und kann bis zu 50 cm dünne Schichten selektiv abbauen. Die Qualität des Endprodukts wird schon in der Grube maßgeblich beeinflusst. Jede Farbe erzählt eine Geschichte von den Ausgangsgesteinen, der Ablagerungsdauer und dem Wetter, das vor Millionen von



Bild 4 Im „Keksraum“ im Labor werden Tonproben für verschiedenste Rezepte gelagert. Die Färbung der Probe ist ein guter erster Indikator für die Zusammensetzung. (© Frey)



Bild 5 Das Gut wird zunächst mit fahrbaren Brechern zerkleinert und dann mittels Förderbändern transportiert. Hier findet auch die erste automatische Probenahme zur Kontrolle der Qualität statt. (© Frey)

Jahren geherrscht hat. Das Gut wird zunächst mit fahrbaren Brechern zerkleinert und dann mittels Förderbändern transportiert. Hier findet auch die erste automatische Probenahme zur Kontrolle der Qualität statt (Bild 5). Damit kann eine erste Einschätzung über die Tonqualität gewonnen werden. Ein Fahrer erledigt mit seinem Bagger heute die

zehnfache Arbeit eines Teams aus 50-60 Tonstechern, die ihren Beruf noch von Hand mit Spaten und Schaufel ausgeführt haben. In Wimpfsfeld III werden jährlich über 200.000 t abgebaut. Das Schaffen in Zeiten der Motorisierung ist aber auch einsamer geworden, obwohl jeder Bagger mit Radio und Klimaanlage ausgestattet ist.

## Zurück im Labor

Die verschiedenen Tonsorten, die in den Tongruben selektiv abgebaut werden, finden später ihren Weg in die Räumlichkeiten des hauseigenen Labors. Dort werden 60-80 Proben pro Tag untersucht, im Jahr sind es mehr als 15000. Im „Keksraum“ (Bild 4), wie er von allen hier genannt wird, werden die Tonproben als kreisrunde Plättchen in Holzhalterungen an der Wand aufbewahrt. Jede Schiene beherbergt ein anderes ‚Tonrezept‘. Ein Farbvergleich ist ein guter erster Indikator für die Zusammensetzung. Weitere Untersuchungsstufen umfassen beispielsweise die Dilatometrie, bei der die thermische Ausdehnung der Probe unter Temperatureinwirkung gemessen wird, und die Messung der Druckfestigkeit der gesinterten Probe im Dreipunktbiegeversuch. Bei Stephan Schmidt arbeiten bundesweit insge-

samt etwa 200 Mitarbeiter, nicht nur in den Gruben selbst, sondern auch an den Mahl- und Aufbereitungsanlagen, an den Homogenisierungsanlagen und im Labor in den Bereichen Forschung und Entwicklung, Qualitätskontrolle und im Bereich der anwendungstechnischen Entwicklung.

## Das Kannenbäckerland

Der Westerwald schaut aufgrund seiner Rohstoffvorkommen, es sind die reichsten in Europa, als Tonabbaugebiet auf eine lange Geschichte zurück. Auch heute trägt die Region, die sich von Würges im Westerwald bis an das Mittelrheintal nach Bendorf und Vallendar zieht, deshalb noch den Namen „Kannenbäckerland“. Im 18. Jahrhundert wurde Wilhelm Jacob Wimpf, ein Nassauisch-Weilburgischer Beamter und Unterneh-

mer, beauftragt, mit dem Ton aus seiner Grube in Wimpfelfeld in Mengerskirchen kostengünstiges Geschirr für die Bevölkerung zu produzieren. In eben dieser Grube, Wimpfelfeld I, übernahm 1954 Stephan Schmidt Senior die Förderung und legte damit den Grundstein für die Erfolgsgeschichte des Unternehmens. ◀

1 Leyla Buchholz ist verantwortliche Redakteurin der Keramischen Zeitschrift und Interacem.

# Automatisiertes Fahren

Vom assistierten zum autonomen Fahren

6. Internationale ATZ-Fachtagung

31. März und 1. April 2020 | Wiesbaden

### SENSE

Sensorik und Umfelderkennung von morgen

### PLAN AND THINK

Situationen erkennen, analysieren und bewerten

### ACT

Funktionen des automatisierten Fahrens umsetzen



**Aktuelles Tagungsprogramm: [www.ATZlive.de](http://www.ATZlive.de)**

# Stephan Schmidt: „Wir sind Qualitätsführer, nicht Preisführer.“

**Keramische Zeitschrift: Werfen wir einen kurzen Blick auf ihren Lebenslauf: Wie sind sie fachlich in die Werkstofftechnik eingestiegen?**

**Stephan Schmidt:** Mir persönlich war der praktische Bezug schon immer sehr wichtig. Ich habe schon als Jugendlicher begonnen, in den Ferien bei uns im Labor zu arbeiten. Am Anfang waren das natürlich eher einfache Tätigkeiten wie Absiebung und Korngrößenanalyse. Ich habe einfach ein bisschen im Labor mitgeholfen. Aber das hat mir immer Spaß gemacht. Ich brauche, ganz salopp gesagt, schmutzige Finger. Und ich wollte gerne immer auch den Prozess dahinter verstehen. Deswegen hat es mich dann auch nach Höhr-Grenzhausen verschlagen an den Westerwaldcampus. Parallel zum Studium habe ich gleich am ersten Tag schon eine Lehre als Stoffprüfer in der Keramik angefangen. Das ging ganz gut. Es war natürlich sehr zeitaufwendig, ich habe dann morgens studiert und mittags gearbeitet. Aber das gab mir eben noch diesen großen praktischen Bezug. Danach bin ich mit meiner Diplomarbeit ins Unternehmen eingestiegen.

**Können sie sich noch an Schwierigkeiten und Herausforderungen erinnern, denen sie am Anfang im Unternehmen begegnet sind?**

Also am Anfang ist natürlich erstmal alles neu – gut, alles neu ist auch falsch, weil es natürlich ein Familienunternehmen ist. Ich bin ja auch ein Stückweit darin aufgewachsen. Aber am Anfang ist mir oft aufgefallen, dass viele Kollegen und auch viele in der Branche vorausgesetzt haben, dass ich doch eigentlich schon alles wissen müsste. Ich habe aber gerade am Anfang bewusst erst einmal sehr viel zugehört und viel angeschaut. Ich habe ein Trainee-Programm durchlaufen, um alle Abteilungen vom Verkaufsdienst über Buchhaltung, Technische Planung, bis draußen in der Produktion kennen zu lernen. Das

Labor kannte ich durch meine Ausbildung schon ganz gut. Auch im Bereich Verkauf war ich viel unterwegs, ich habe ganz viele Kunden kennen gelernt, Werke besichtigt, und das auch weltweit. Ich war sehr viel unterwegs, gerade in der Anfangszeit. So bin ich nach und nach mehr in das Unternehmen reingekommen und habe schrittweise mehr Verantwortung übernommen.

**In Ihrem Unternehmen arbeiten sie als Familie zusammen. Gibt es da manchmal auch Reibungspunkte zwischen den Generationen und wie gehen sie damit um?**

Mag man vielleicht vermuten, aber das war bei uns noch nie ein Thema. Ich sage immer, den Generationswechsel haben wir erfolgreich gemeistert. Da sind wir sehr stolz drauf, dass wir das ohne irgendwelche Reibungsverluste hinkommen haben. Ich hätte mir das nicht besser wünschen können. Es ist ein Geben und Nehmen und dazu gehört vor allen Dingen, dass die ältere Generation gewillt ist, Verantwortung abzugeben. Das hat mein Vater ganz toll hinkommen. Er sagt immer, er hat das von seinem Vater genauso erlebt. Als mein Großvater das Unternehmen an meinen Vater übergeben hat, hat er ihm frühzeitig viel Verantwortung übertragen und freie Hand gelassen und genauso hat mein Vater das jetzt auch gemacht. Aber er ist nach wie vor im Unternehmen involviert. In strategischen Fragen steht er zur Verfügung, wobei er seit einigen Jahren im operativen Geschäft nicht mehr tätig ist. Das habe ich übernommen.

**Sie sind schon eine Weile bei der DKG im Bereich Nachwuchs tätig. Wie sehen sie persönlich die Nachwuchssituation in der Keramikbranche?**

Auch wir sehen natürlich die Nachwuchssituation in der klassischen Keramik und in der Rohstoffbranche mit gewisser Sorge. Ich bin als Mitglied des Vorstandes der DKG

da aktiv. Wir haben verschiedene Aktivitäten gestartet, mit denen wir die Jungkeramiker zusammenbringen und ein Netzwerk aufbauen wollen. Mit dem Nachwuchsnetzwerk haben wir da schon eine sehr gute Basis, die wir nutzen möchten, um das auch weiter voran zu treiben.

Als Unternehmen haben wir, gerade was die keramischen Fachkräfte angeht, kein Nachwuchsproblem. Ich denke das liegt daran, dass wir zum einen zu den Hochschulen engen Kontakt pflegen, also wie zum Beispiel Höhr-Grenzhausen oder auch anderen keramischen Ausbildungsstätten, und zum anderen ein sehr interessantes Aufgabengebiet bieten können. Wenn bei uns jemand anfängt, kann er heute bei einem Sanitärkunden was lernen, morgen beim Dachziegelkunden und übermorgen kann er vielleicht im Bereich Feuerfest unterwegs sein. Das macht es so spannend bei uns und ich glaube deswegen haben wir auch in Zukunft immer gute Chancen, junge Fachkräfte gerade im Bereich Keramik zu finden.

**Auf ihrer Internetseite schreiben sie: „Wir alle - die Mitarbeiter der Stephan Schmidt Gruppe - sind uns der Verpflichtung bewusst, eines der führenden europäischen Bergbauunternehmen für Spezialtone und mineralische Rohstoffe zu sein.“ Welche Verpflichtungen sind das?**

Die Stephan Schmidt Gruppe steht für langfristige und zuverlässige Versorgung unserer Kunden. Da folgen wir der Devise: Große Mengen in gleichbleibender Qualität zur Verfügung stellen. Und mit einer jährlichen Tonnage von 1,6 Millionen Tonnen und einer Exportquote von über sechzig Prozent tragen wir heute schon nennenswert zum Erfolg unserer Kunden bei. Und der Rohstoff ist der wichtigste Input in jedem Prozess. Wenn der Rohstoff, der ganz am Anfang in den Prozess reinkommt, schon Schwankungen unterliegt und keine gute Qualität hat, dann kann ich keine



## Stephan Schmidt

Stephan Schmidt jr. führt seit 2013 als Geschäftsführender Gesellschafter in der dritten Generation die Stephan Schmidt KG. Er hat in Höhr-Grenzhausen am Westwaldcampus studiert und parallel zum Studium eine Lehre als Stoffprüfer in der Keramik abgeschlossen. Mit seiner Diplomarbeit ist er in das Unternehmen eingestiegen.

erfolgreiche Produktion fahren. Das ist uns bewusst, dass wir ein gutes Qualitätssicherungssystem brauchen, womit wir große Mengen in gleichbleibender Qualität zur Verfügung stellen können.

### Wie begegnen sie dem globalen Wettbewerb und dem zunehmenden Preisdruck?

In unserer Struktur, wie wir heute als Stephan Schmidt Gruppe aufgestellt sind, können und wollen wir Qualitätsführer sein und sind das auch am Markt, was die Spezialtone betrifft. Aber wir können niemals Preisführer sein. Deswegen investieren wir fortlaufend in Forschung und Entwicklung, in neue Projekte und entwickeln uns gemeinsam mit unseren Kunden ständig weiter. Wir sind der festen Überzeugung, dass die Spezialtone, die wir hier in Deutschland gewinnen, abbauen und verarbeiten, auf weltweites Interesse unserer Kunden stoßen. Das heißt, wir verfolgen nicht die Strategie, einen Tagebau in China oder sonst wo zu eröffnen und dort lokal zu versorgen. Wir stellen diese Tone, die wir hier in Deutschland fördern und verarbeiten, dem Markt in einer so konstanten Qualität zur Verfügung, dass wir auch in der Lage sind, Kunden trotz der Transportkosten weltweit zu beliefern.

**Zum Thema Forschung und Entwicklung: Können sie uns etwas über Projekte verraten, die sie in den letzten Jahren auch in Zusammenarbeit mit Hochschulen und**

### Forschungsinstituten erfolgreich umgesetzt haben?

Ja, absolut. Neben den regelmäßigen Entwicklungen, die wir mit unseren Kunden durchführen, haben wir auch eine eigene Abteilung für Forschung und Entwicklung. Dabei ist wichtig zu erwähnen, dass unser Labor dreigliedrig aufgebaut ist. Wir haben die klassische Qualitätssicherung, wir haben

den Bereich der Anwendungstechnischen Entwicklung, AWT wie das bei uns heißt, und wir haben den Bereich F&E. Dieser Bereich Forschung und Entwicklung wird von Professor Dr. Ralf Diedel geleitet, der lange Jahre Geschäftsführer des Forschungsinstituts Glas und Keramik in Höhr-Grenzhausen war. Er bringt ein wahnsinniges Know-how und ein tolles Netzwerk mit. Sein Forschungsschwerpunkt liegt bei uns eher auf dem Bereich der Mineralprodukte, sprich außerhalb der Keramik. Trotzdem gibt es natürlich auch wichtige Forschungsprojekte, die wir mit Forschungsinstituten oder mit Kunden zusammen im Bereich der klassischen Keramik vornehmen. So haben wir aktuell ein Forschungsprojekt in der

Sanitärindustrie und auch ein Forschungsprojekt in der Fliesenindustrie, was wir mit begleiten und unterstützen. Darüber hinaus haben wir auch öffentlich geförderte Forschungsvorhaben, zwei an der Zahl, die aktuell noch laufen und drei, die unmittelbar vor der Genehmigung stehen, also die entweder vom ZIM oder vom BMBF gefördert werden.

## „Den Generationswechsel haben wir erfolgreich gemeistert.“

### Können sie mir ein paar Punkte nennen, die Ihr Unternehmen auszeichnen?

Ich denke, als Familienunternehmen heben wir uns in der Art und Weise der Marktbearbeitung, aber auch in der Weiterentwicklung des Unternehmens vom internationalen Wettbewerb ab. Ich glaube, das zeichnet uns am meisten aus. Und wir stehen für Kundennähe und professionelle Kundenbetreuung, langfristige Liefersicherheit und Kompetenz in allen Fragen rund um den Rohstoff Ton.

**In ihrem Unternehmensfilm fällt der Satz „Produktion und Umweltbewusstsein gehen bei uns Hand in Hand“. Die Stephan Schmidt KG ist auch Mitglied der Umwelt-**



© Frey



© Frey

**allianz Hessen. Welche Maßnahmen ergreifen sie zum Umweltschutz?**

Zur Umwelt zählen wir natürlich zum einen die wichtige Rekultivierung und Renaturierung, also alles rund um das Thema Flora und Fauna. Das nehmen wir sehr ernst. Dort haben wir neben den offiziellen großen Kooperationen wie der Umweltallianz Hessen auch verschiedene Vereinbarungen mit dem Umweltministerium in Rheinland-Pfalz, bis runter zum lokalen NABU Verband, mit dem wir kleinere und größere Projekte umsetzen.

Für uns gehört aber eben auch die Bevölkerung zur Umwelt dazu. Dort betreiben wir sehr viel Öffentlichkeitsarbeit, um den Rohstoffabbau auch wieder in das positive Bewusstsein der Bevölkerung zu heben. Wir fangen an mit Kindergartenführungen über Schüler und Studenten bis hin zu interessierten Gruppierungen, also Vereinen, die wir dann teilweise auch am Wochenende mal durch die Gruben führen. Denen erkläre ich, was wir da eigentlich tun. Wir haben da keine Geheimnisse, in die Gruben kann ja auch jeder reingucken. Von daher bringt es gar nichts, irgendwas zu verheimlichen und wir gehen da sehr offen mit um.

**Was verfolgen sie für mittel- und langfristige Entwicklungspläne für das Unternehmen?**

Das Rohstoffgeschäft ist natürlich ein langfristiges Geschäft. Das heißt auch damals, als ich eingestiegen bin, habe ich das Rad nicht

neu erfunden. Wir leben von kontinuierlicher Weiterentwicklung. Natürlich gibt es bei uns auch Dinge, die wir in Angriff nehmen und die wir im Fokus haben. Mittelfristig sind natürlich Themen wie Fachkräftegewinnung, Digitalisierung und Automatisierung im Fokus. Wir machen uns Gedanken, wie wir unsere Prozesse und Produkte verbessern können. Langfristig ist unser größtes Ziel, den Nutzungsgrad unserer Gruben auf hundert Prozent zu heben. Unser Ziel muss es sein, dass wir langfristig in der Lage sind, jede einzelne Tonne, die wir aus der Erde holen, einer sinnvollen Verwendung zuzuführen.

**Und noch eine persönliche Frage: Als Geschäftsführer sind sie viel in Ihre Arbeit eingebunden. Was tun sie, wenn sie mal nicht an Arbeit denken wollen?**

An erster Stelle steht natürlich meine Familie, meine Frau, und wir haben drei wunderbare Kinder. Wir versuchen, und das kriegen wir auch ganz gut hin, regelmäßige Urlaube zu planen und auch durchzuführen. Das ist ganz wichtig. Und ich finde, so haben wir einen ganz guten Modus gefunden inzwischen. Klar, es ist eine große Arbeitsbelastung, ich bin häufig unterwegs, habe viele Abendtermine und arbeite lange. Aber ich muss sagen, und das ist mir auch wichtig, das zu erwähnen, ich kann mich glücklicherweise zu hundert Prozent auf unser Team hier verlassen. Es läuft alles, auch wenn ich mal nicht da bin. Und das ist

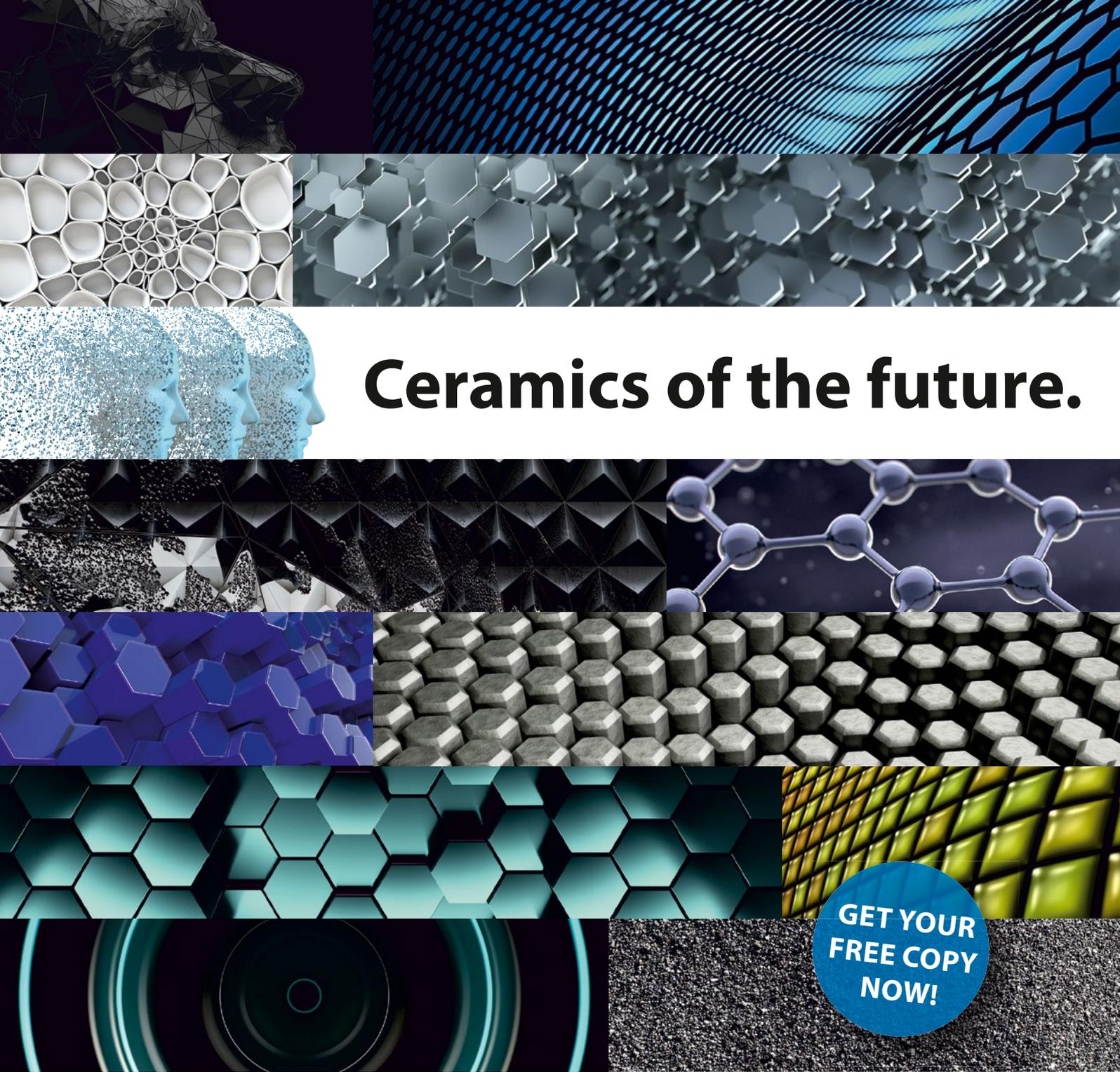
schön zu wissen, dass wir ein Unternehmen haben, das die entsprechenden Strukturen hat. Man kann auch mal wegfahren oder sich bei der Arbeit um andere Dinge kümmern, ohne ständig Angst zu haben, dass das Tagesgeschäft sonst nicht weitergeht.

**Können sie sich vorstellen, dass ihre Kinder später auch ins Unternehmen einsteigen?**

Klar. Jeder hat schon einen eigenen Helm mit Namen. Wir fahren regelmäßig in die Grube und führen die Kinder da spielerisch ran. Ich glaube, das war auch das Erfolgsgeheimnis meiner Eltern, warum wir alle ins Unternehmen reingekommen sind. Für uns war das Unternehmen immer eine tolle Sache, da waren Maschinen, die haben sich bewegt, und wir konnten auch mal mit nach Italien. Das ist dann natürlich auch aufregend, mit zehn Jahren eine Geschäftsreise nach Italien zu machen und zu sehen, bis wohin wir unsere Tone verkaufen. Und genauso versuchen wir das jetzt auch. Wobei wir auch immer sagen, man muss das machen, woran man Spaß hat. Wenn die Kinder nachher was ganz anderes machen wollen, dann ist das auch okay. Das Unternehmen kann nur langfristig erfolgreich funktionieren, wenn jemand mit Herzblut dran ist. So war das in der ersten Generation und genauso muss das auch in der vierten Generation sein. ◀

Vielen Dank für das Interview.

Interview: Leyla Buchholz



# Ceramics of the future.

GET YOUR  
FREE COPY  
NOW!

**Expertise on all aspects of ceramic technology**, in all application-relevant areas and presented at a technical-scientific level, together with the latest major trends and developments. Get the latest information five times a year with the exclusive combination of the **print edition** and **interactive e-magazine**, as well as the online archive, **a unique knowledge database with pdf download function**.

[www.my-specialized-knowledge.com/interceram](http://www.my-specialized-knowledge.com/interceram)



# Charakterisierung additiv gefertigter keramischer Bauteile via FFF-Verfahren

D. Nötzel<sup>1,2</sup>, T. Hanemann<sup>1,2</sup>, R. Eickhoff<sup>1</sup>

**Kurzfassung:** Eine preiswerte Formgebung komplexer dreidimensionaler keramischer Bauteile in kleinen Stückzahlen ist nach wie vor eine Herausforderung. Daher entwickeln wir eine Prozesskette und Materialien, mit deren Hilfe Bauteile mittels Fused Filament Fabrication (FFF) gedruckt und anschließend gesintert werden können. In diesem Artikel stellen wir die Abbildegenauigkeit, erreichbare Dichte und Gefügeuntersuchungen vor.

**Abstract:** The inexpensive shaping of complex three-dimensional ceramic components in small numbers is still a challenge. We are therefore developing a process chain and materials that can be used to print components using Fused Filament Fabrication (FFF) and then sinter them. In this article, we present the imaging accuracy, achievable density and microstructural investigations.

**Keywords:** Fused Filament Fabrication (FFF), Keramik, Filament, Extrusion, 3D-Druck

## 1. Einleitung

Große Stückzahlen komplexer keramischer Bauteile können sehr gut mittels Pulverspritzgießen hergestellt werden. Kleine Mengen oder gar Prototypen übersteigen den Rahmen der Wirtschaftlichkeit bei weitem. Die additive Fertigung, im Allgemeinen auch als 3D-Druck bezeichnet, bietet neue Möglichkeiten zur Herstellung kleiner Auflagen. Es wurden verschiedene Verfahren zum 3D-Druck von Keramiken entwickelt,

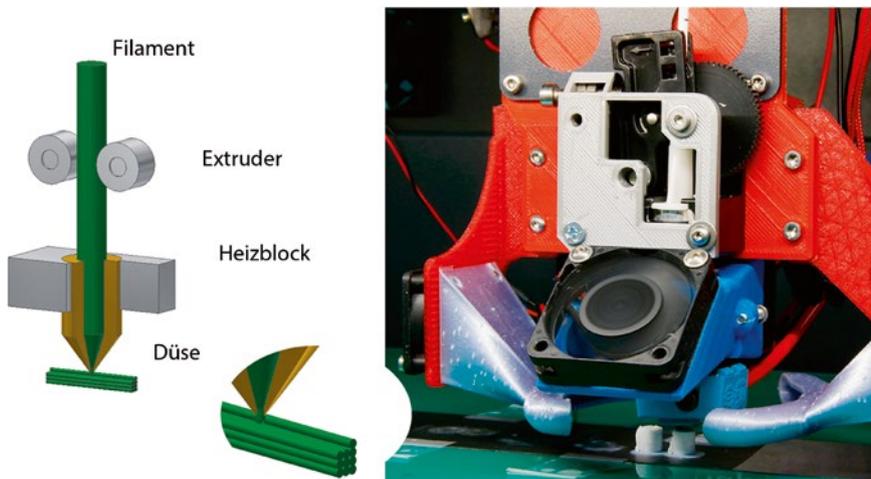
welche beispielsweise von J. Gonzalez-Gutierrez et al. zusammengestellt wurden [1]. Für einen Großteil der Verfahren werden hochpreisige Geräte benötigt, bei denen zum Teil zusätzlich hohe Verbrauchs- und Wartungskosten anfallen können. Andere Verfahren führen zu Proben mit geringer Dichte, was nicht für jeden Anwendungsfall akzeptiert werden kann.

Ein Schema des FFF-Verfahrens wird in [Bild 1](#) links dargestellt. Das FFF-Verfahren

verarbeitet ein Halbzeug, welches auch als Filament bezeichnet wird. Dieses wird durch den Vortrieb im Drucker (Extruder) Richtung Heizblock geschoben, wo es aufgeschmolzen und unterhalb der Düse abgelegt wird. Der Druck, um den Feedstock (engl. Formmasse) zu extrudieren, entsteht durch das noch ungeschmolzene Filament, welches als Kolben wirkt. Vorab werden die CAD-Zeichnungen der Bauteile in ein Steuerprogramm, den sogenannten Slicer, eingelesen. Dieses erzeugt anhand des Filament- und Düsendurchmessers und der Schichthöhe einen maschinenlesbaren G-Code, welcher vom Drucker während des Druckes umgesetzt wird.

Aufbauend auf der Prozesskette für den keramischen Mikropulverspritzguss ( $\mu$ -CIM), wurde ein Verfahren entwickelt, um hochgefüllte Filamente für Fused Filament Fabrication (FFF), auch unter Fused Deposition Modeling (FDM) bekannt, herzustellen [2]. Die Zusammensetzung der am KIT entwickelten Materialien ist sehr flexibel, was heißt, dass das Füllmaterial durch andere Pulver ersetzt werden kann. Die Prozesskette zur Herstellung und Verarbeitung der Materialien wird in [Bild 2](#) dargestellt.

Zu Beginn der Prozesskette werden die Materialien komponentiert, was in einem



**Bild 1** links: Schemazeichnung FFF-Verfahren, rechts: verwendeter Druckkopf (© Nötzel, KIT)

## Autorin



DORIT NÖTZEL erlangte 2002 ihren Abschluss als Diplom-Mineralogin an der Universität Leipzig. Bis 2005 war sie im Bereich der Forschung und Entwicklung bei der Rauschert GmbH tätig. Seit 2006 ist sie am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), wo sie seit 2016 am Institut für Angewandte Materialien – Werkstoffkunde (IAM) an der Materialentwicklung für den 3D-Druck mittels Fused Filament Fabrication (FFF) arbeitet.

Messkneten oder einem Doppelschneckenextruder erfolgen kann. Für die Extrusion der Filamente ist ein Einschneckenextruder mit auswechselbaren Düsen ausreichend. Wichtig für reproduzierbare Proben ist die Homogenität der Filamentdurchmesser, weil aus diesem Durchmesser der G-Code erstellt wird. Die Materialien können anschließend in jedem Drucker mit einem Direktextruder, das heißt, der Antrieb befindet sich nur wenige Zentimeter oberhalb der Düse, verdichtet werden. Abschließend werden die Bauteile entbindert und gesintert. Die Art des Entbinderns richtet sich nach den Binderkomponenten und erfolgt bei den vorgestellten Materialien zunächst im

Lösungsmittel n-Hexan und anschließend unter normaler Atmosphäre thermisch bis 500 °C. Gesintert wird unter den Bedingungen, welche das Füllmaterial erfordert.

Vor allem die Fertigung kleiner Bauteile stellt besondere Ansprüche an den Feedstock, weil dieser mit Düseninnendurchmessern von maximal 250 µm verarbeitet wird. Daher darf das Füllmaterial nur 1/10 des Düseninnendurchmessers betragen, um ein Verstopfen durch Partikelstau zu verhindern, was auch für die Vermeidung von Agglomeraten und Aggregaten gilt. Um das Material mit geringem Kraftaufwand extrudieren zu können, sollte es sehr niedrigviskos sein, ohne aber die Stabilität der abgelegten Stränge zu verringern. Die Stränge sollten sich vor dem Erstarren nicht verformen, sollten sich bei höheren Bauteilen selbst tragen können und müssen der Deformationskraft beim Drucken von darüber folgenden Schichten widerstehen können.

## 2. Experiment

Als feinskaliertes keramischer Füller wurde das Aluminiumoxid TM-DAR (Taimai Chemicals, Tokyo, Japan) mit einer Partikelgröße  $d_{50} = 0,11 \mu\text{m}$  verwendet. Stearinsäure wurde als Dispergator eingesetzt, der thermoplastische Binder unterteilt sich in Polyethylen (PE) als festigkeitsgebendes Material und Paraffin (W) zur Senkung der Schmelzviskosität. Zur Bestimmung der Materialzusammensetzung auf die Druckbarkeit und Maßhaltigkeit wurde der Feststoffgehalt von 45, 50 und 55 vol.-% und das PE/W-Verhältnis zwischen 40/60, 50/50 und 60/40 vol.-% variiert, was neun Feedstockzusammensetzungen ergibt. Details zur Feedstockprozessierung sowie zum Entbindern und Sintern wurden in [2] veröffentlicht.

Zum Druck wurde ein X350pro der Firma German RepRap (München, Deutschland) verwendet, dessen Druckkopf für eine optimale Verarbeitung der neu entwickelten Materialien umgebaut wurde (Bild 1 rechts).

Da die hochgefüllten Materialien relativ spröde sind, wurde der ursprüngliche Durchmesser von 1,75 mm auf 2,85 mm angehoben, um eine höhere mechanische Stabilität der Filamente zu gewährleisten. Durch den größeren Querschnitt des Filamentes wird pro Motorschritt jedoch mehr Volumen gefördert, womit die Auflösungsgrenze des Motors sinkt. Um dies zu kompensieren, wurde ein Titan-Extruder (e3D online, Großbritannien) eingebaut, welcher durch ein zusätzliches Zahnrad eine feinere Übersetzung erlaubt. Sowohl das Filament oberhalb des Heizblocks als auch das Bauteil unterhalb der Düse werden gekühlt. Die Kühlung des Bauteils erfolgt zudem von zwei Seiten. Gedruckt wurde mit gehärteten Stahldüsen mit einem Innendurchmesser von 250 µm, bei Temperaturen von 135 - 180 °C und einer Druckbetttemperatur von 65 °C. Die Druckgeschwindigkeiten variierten von 2,5 - 10 mm/s, die Schichthöhen waren konstant 100 µm, die Füllung 100 % und als Slicer wurde das frei erhältliche Programm Cura verwendet.

Für die Vermessung der Geometrien wurden zwei Volumenkörper konstruiert, welche in Bild 3 zu sehen sind. Die farbigen Kreise demonstrieren die Messpunkte, an denen die Abmessungen in x, y, z mittels eines Messtasters (VZR1, Heidenhain, Traunreut, Deutschland) bestimmt wurden. Es wurden jeweils 10 Proben vermessen. Die Pfeilmarkierungen auf der Probe dienen zur Bestimmung der Lage im Drucker, um die x- und y-Richtung zu unterscheiden. Die Dichte der Grün- und Sinterlinge wurde mit der Auftriebsmethode nach Archimedes ermittelt.

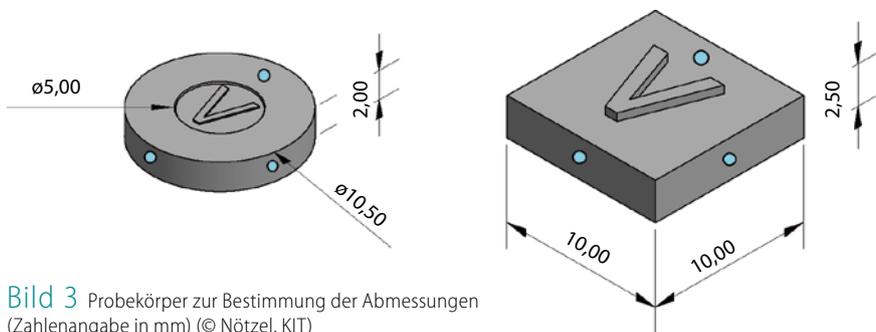
## 3. Ergebnisse

### 3. 1 Rheologie

In Bild 4 links ist die Viskosität bei einer Scherrate von  $100 \text{ s}^{-1}$ , welche üblicherweise in der Düse während des Druckens herrscht, in Abhängigkeit von der Materialzusammensetzung dargestellt. Erwartungsgemäß steigt



Bild 2 Prozesskette zur Herstellung 3D-gedruckter Keramiken (© Nötzel, KIT)



**Bild 3** Probekörper zur Bestimmung der Abmessungen (Zahlenangabe in mm) (© Nötzel, KIT)

die Viskosität mit steigendem Feststoff- und PE-Gehalt an. Das Material mit der höchsten Viskosität (55 vol.-%, PE60/W40, roter Balken) lässt sich auch bei hohen Temperaturen nur sehr schwer verdrücken, was heißt, dass Ecken nicht abgebildet werden können. Daher konnten mit diesem Material nur Scheiben hergestellt werden. Das Material mit 50 vol.-% und PE60/W40 (gelber Balken) neigt während des Drückens stark zum „stringing“, es zieht Fäden. Dadurch wird das Druckbild etwas unsauberer, jedoch können freistehende Strukturen sehr gut abgebildet werden.

Aus rheologischen Oszillationsmessungen (Platte-Platte) wurden die Fließgrenzen bestimmt, welche in **Bild 4** rechts dargestellt sind.

Die Fließgrenzen steigen mit zunehmendem Feststoffgehalt leicht und mit steigen-

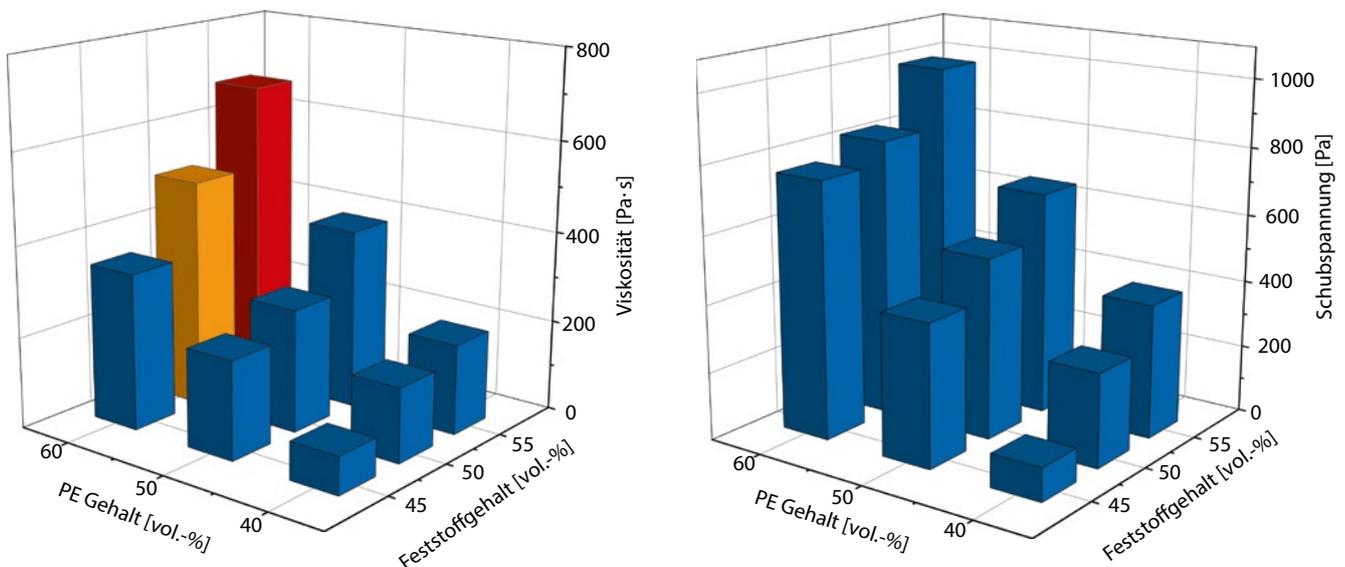
dem PE-Gehalt stark an. Die Fließgrenze in Kombination mit der Viskosität der Feedstocks hat einen starken Einfluss auf die „Verdruckbarkeit“ der Materialien. Sind die Viskosität und Fließgrenzen zu hoch, reicht die Kraft des Extruders nicht aus, um das Filament gegen den Druckabfall in der Düse zu bewegen. Zudem fließt das geschmolzene Material aufgrund des hohen Widerstandes schlecht in kleine Kavitäten, welche verfahrensbedingt durch die Geometrie des Nachbarstranges entstehen. Durch diese Unterfüllung entstehen Poren und Lunken, wie sie typisch für das FFF-Verfahren sind.

### 3.2 Abmessungen und Toleranzen

Die geometrischen Abmessungen in der Druckebene (x, y) liegen immer unter den erwarteten Werten, was an dem relativ

hohen Ausdehnungskoeffizienten des Materials liegt und zu einer starken Schrumpfung beim Abkühlen führt. Obwohl dieser Effekt mit steigendem Feststoffgehalt sinkt, ist kein Unterschied der Maße zwischen den unterschiedlichen Materialzusammensetzungen zu ermitteln. Das kann zum einen an der starken Streuung der Werte liegen, zum anderen befinden sich die gewählten Feststoffgehalte in einem Bereich, in dem die Partikel die Schrumpfung nicht mehr stark beeinflussen.

Beim Vergleich der x- mit den y-Werten zeigt sich systematisch, dass die Länge in y-Richtung geringer ist, als in x-Richtung. Das liegt am mechanischem Aufbau des Druckers, dessen Achsen in der Druckebene jeweils mit Steppermotoren und Zahnriemen bewegt werden. Die Motoren sind nicht zwangsläufig aufeinander abgestimmt und die Zahnriemen sind ungleich lang, was zu einem Abweichen der tatsächlichen Geometrien führen kann. Abhilfe kann eine Justierung der Ansteuerung der Steppermotoren schaffen oder eine Skalierung der Bauteile, was in jedem Slicerprogramm möglich ist. Die Ausdehnung senkrecht zur Druckebene, also die Höhe z, muss von den beiden anderen Richtungen getrennt beurteilt werden. Einerseits ist das Bauteil im Mittel geringfügig höher als gewünscht und andererseits streuen die



**Bild 4** links: Viskosität bei Scherrate  $100 \text{ s}^{-1}$  und  $160 \text{ °C}$ , rechts: Fließgrenze bei  $160 \text{ °C}$  und  $1 \text{ Hz}$  (© Nötzel, KIT)

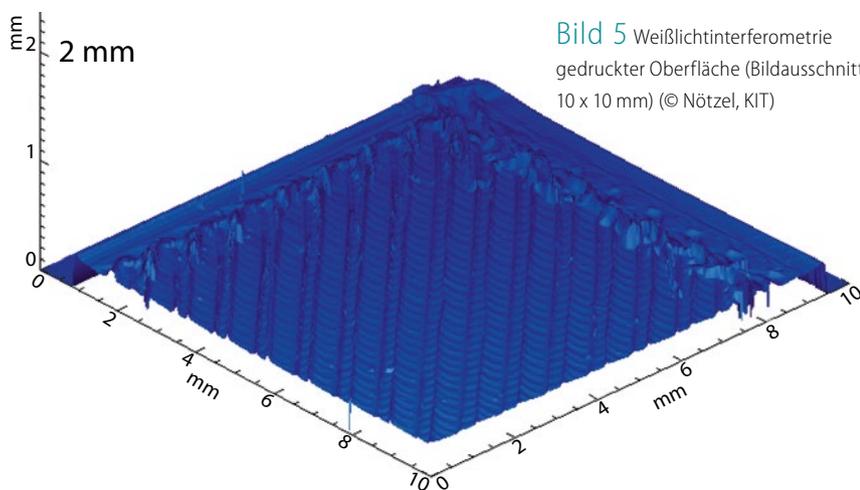


Bild 5 Weißlichtinterferometrie gedruckter Oberfläche (Bildausschnitt 10 x 10 mm) (© Nötzel, KIT)

Werte viel stärker. Als Fehlerquelle kommt hier in Betracht, dass der Abstand zwischen Druckbett und Düsenausgang in der ersten Schicht per Augenmaß eingestellt wird und die Oberfläche des Bauteils sehr uneben ist, wie eine Messung mittels Weißlichtinterferometrie in Bild 5 zeigt.

Die Toleranz der Maße der gesinterten Proben wurde anhand der größten Abweichung einer Einzelprobe zum Mittelwert beurteilt. Dabei lagen die größten Abweichungen nach dem Druckprozess, anschließender Entbinderung und dem Sinterschritt in der Druckebene nur zwischen 1-2 %. Lediglich das am schwierigsten zu druckende Material mit 55 vol.-% und PE60/W40 hat mit  $\pm 2,3$  % einen etwas höheren Fehler. Die Abweichung in der z-Richtung liegt erwartungsgemäß darüber, befindet sich aber bis auf zwei Ausreißer in +z-Richtung unterhalb 5 %. Nach dem Entbindungs- und Sinterschritt ist an einigen Proben Delamination zwischen den Schichten zu beobachten, was direkt zu einem Fehler in der Höhe der Proben führt.

Nach intensiver Auswertung ist keine Materialabhängigkeit der Abmessungen und deren Toleranzen zu erkennen. Weder der Feststoffgehalt noch das Verhältnis PE/Wachs beeinflussen die Abmessungen der Grünkörper und die Toleranzen der Sinterlinge. Es ist derzeit nicht zu unterscheiden, ob es tatsächlich keinen Einfluss der Bindereinstellung gibt oder ob sie unterhalb der verfahrensbedingten Ungenauigkeiten liegen.

### 3.3 Sinterschrumpf, Dichte und Gefüge

Der Sinterschrumpf der verschiedenen Materialien nimmt erwartungsgemäß mit steigendem Füllstoffgehalt ab; die Werte sind in Tabelle 1 aufgeführt. In die Berechnung der Mittelwerte wurden die Maße der z-Achse einbezogen, die Fehlerwerte bestehen jedoch nur aus den minimalen beziehungsweise maximalen Abweichungen vom Mittelwert in der Druckebene. Wie auch bei der Maßhaltigkeit sind die Fehler für die Höhe größer und liegen bei 2,4 - 5,6 %.

Zur Beurteilung der Sinterdichten wurden die reinen Filamente gesintert, um zu ermitteln, welche Dichte die Materialien maximal erreichen. Von jedem Material wurden 5 Filamentstücke mit einer Länge von etwa 2 cm gesintert und vermessen. Die Dichte ist sowohl abhängig vom Feststoffgehalt als auch von der Materialzusammensetzung, wie Tabelle 2 entnommen werden kann. Mit steigendem Feststoffgehalt steigt erwartungsgemäß die Sinterdichte. Ein hoher PE-Gehalt scheint sich jedoch negativ auf die Dichten auszuwirken, wobei dies vermutlich an den dem Sintern vorgelagerten Entbinderungsschritten liegt. Während des

Flüssigbinders wird das Paraffin mit n-Hexan aus dem Grünling gelöst, um den Pyrolysegasen des PE bei der anschließenden thermischen Entbinderung genügend Raum zu geben. Allerdings nimmt das PE während der solventen Entbinderung auch n-Hexan auf und quillt, weshalb es in diesem Schritt bereits zu Rissen und Delaminationen im Bauteil kommen kann. Zusätzlich können während des thermischen Entbinderungsschrittes bei einem niedrigen Paraffinanteil expandierende Pyrolysegasen, welche keinen Diffusionsweg finden, das Bauteil schädigen.

In der Annahme, dass alle Filamente frei von Poren sind, kann bei einem Feststoffgehalt von 45 vol.-% nach der Vermessung der Filamente kein dichtes Bauteil erwartet werden. Da die Sinterdichten mit steigendem Paraffingehalt im Bindersystem steigen, sind unter dem Aspekt paraffinreiche Feedstocks zu bevorzugen.

Die relativen Sinterdichten aller Proben sind in Bild 6 gegen die Gründichten aufgetragen. Auch wenn die Einzelwerte stark streuen, ist zu erkennen, dass die Gründichte der Probekörper einen enormen Einfluss auf die anschließende Sinterdichte hat.

Die geringste Streuung der Sinterlinge weisen die Feststoffgehalte von 45 vol.-% auf, wobei die höchste Dichte bei 99,0 % liegt. Da sie vergleichbar mit der höchsten erreichbaren Dichte bei 45 vol.-% ist, kann angenommen werden, dass keine Poren oder Lunker in die Probe eingedrückt wurden. Entgegen der Erwartung aus den Sinterversuchen der Filamente streuen die Dichten der Proben mit den Feststoffgehalten von 55 vol.-% sehr stark. Obwohl auch Dichten von 99,95 % erreicht wurden, konnten insgesamt wenig Proben mit Dichten über 99,8 % hergestellt werden. Im Mittel wurden mit den Materialien des Feststoffgehaltes von 50 vol.-% die höchsten Dichten erreicht, was nicht zu den

Tabelle 1 Linearer Sinterschrumpf bei 1400 °C, 6h (© Nötzel, KIT)

Feststoffgehalt	45 vol.-%	50 vol.-%	55 vol.-%
Sinterschrumpf	22,8 $\pm$ 1,2 %	20,4 $\pm$ 1,4 %	18,0 $\pm$ 1,6 %

Tabelle 2 Relative Dichte der Filamente (© Nötzel, KIT)

Verhältnis PE/Paraffin	Feststoffgehalt		
	45 %	50 %	55 %
40/60	99,1 ± 0,5 %	99,5 ± 0,4 %	99,9 ± 0,5 %
50/50	96,5 ± 0,5 %	99,4 ± 0,7 %	99,6 ± 0,3 %
60/40	92,6 ± 1,0 %	97,3 ± 0,6 %	99,9 ± 0,4 %

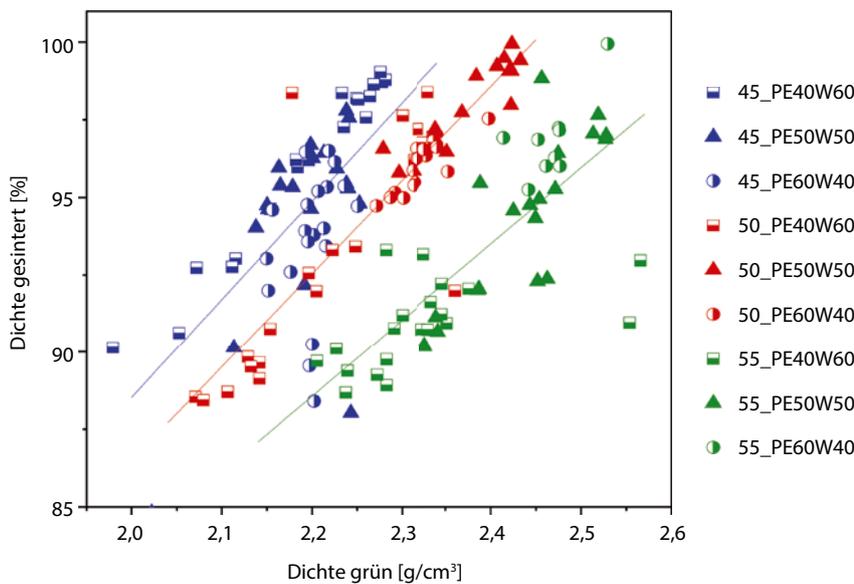


Bild 6 Sinterdichte gegen Gründichte (© Nötzel, KIT)

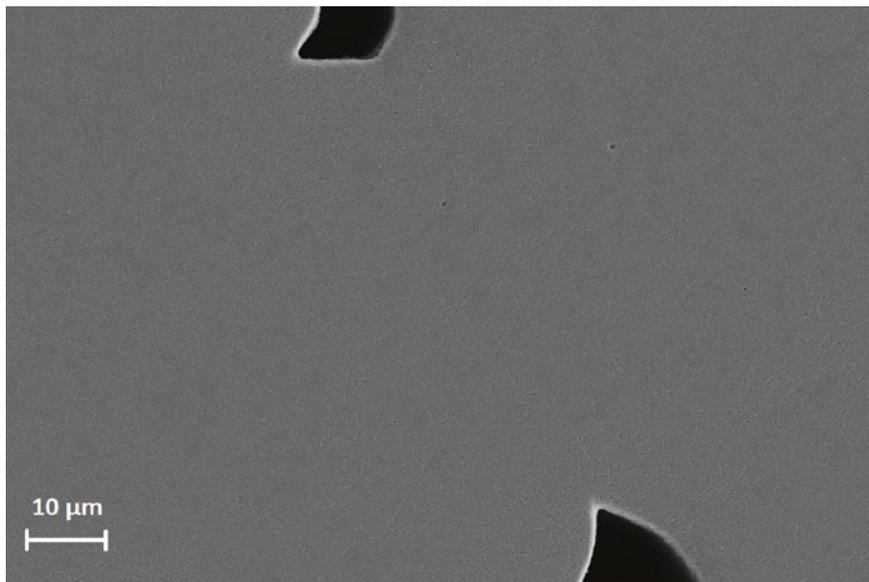


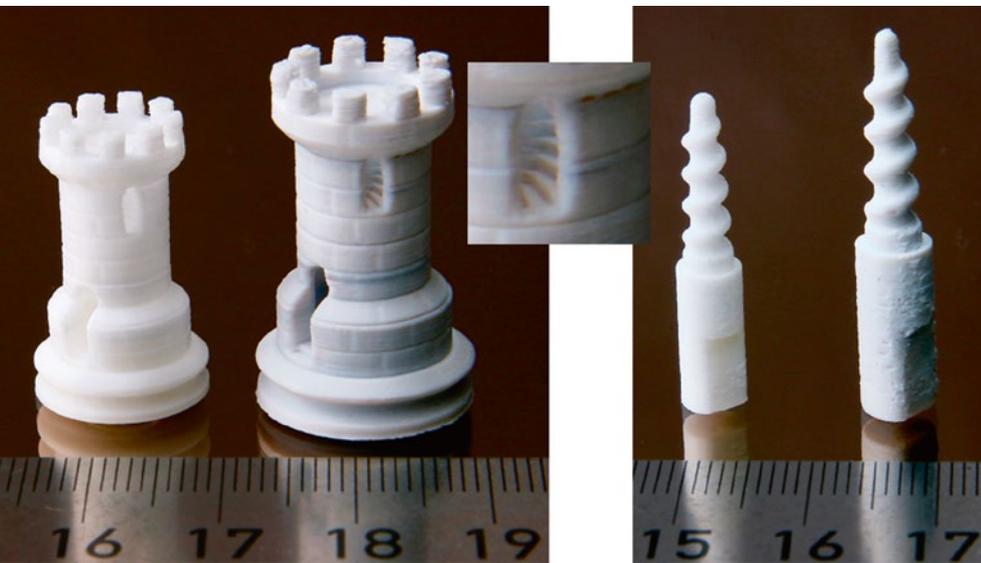
Bild 7 Gefüge einer Probe mit verfahrensbedingten Lunkern (© Nötzel, KIT)

Ergebnissen der reinen Filamente passt. Deswegen ist die Ursache der Abweichungen im 3D-Druckverfahren zu suchen, denn besonders beim Festphasensintern, wie das Sintern von Aluminiumoxid, können Poren und vor allem größere Lunker, welche durch den Druckprozess eingebracht werden, nicht ausheilen [3]. Bereits im Jahr 1996 untersuchten Agarwala et al. die Bauteilqualität mittels FFF gedruckter Bauteile und identifizierten mögliche Fehlerursachen, an denen sich bis heute nichts geändert hat. Zum einen entstehen Lunker zwischen den Schichten durch die Ablage runder Stränge, die ein prinzipiell rechteckiges Volumen ausfüllen sollten. Zum anderen werden Poren innerhalb einer Schicht gebildet, wenn die Druckrichtung nicht parallel zur Außenkontur liegt. Durch diese tendenziell überwiegende Unterfüllung der Bauteile wird die Dichte durch das Druckverfahren direkt beeinflusst. Mittels der Messung der Viskositäten und der Fließgrenzen wird deutlich, dass die Mobilität der Materialien mit steigendem Feststoff- und PE-Gehalt stark abnimmt, was erklärt, warum die Materialien mit einem Feststoffgehalt von 55 vol.-% niedrige Dichten aufweisen.

Das Schlibbild einer Probe mit einem Feststoffgehalt von 50 vol.-% und einem PE/Paraffin-Verhältnis von 50/50 wird in Bild 7 gezeigt. Sie wurde geschnitten, poliert und anschließend thermisch geätzt, um eventuelle Fehlerstellen an den Stranggrenzen hervorzuheben.

Die üblichen verfahrensbedingten Lunker sind bereits im ungeätzten Anschliff zu erkennen (ohne Bild) und haben eine Größe von etwa 10 µm. Hervorzuheben ist, dass die Lage der Druckpfade im gesinterten, geschliffenen und geätzten Bauteil nur noch anhand dieser Lunker zu sehen ist. Die Partikel der benachbarten Stränge versintern ohne sichtbare Grenzen homogen und porenfrei mit Korngrößen zwischen 0,5 - 3,5 µm (ohne Bild).

Beispiele für anspruchsvolle Bauteile werden in Bild 8 jeweils im gedrucktem und gesintertem Zustand dargestellt. Sie zeigen, dass mit dem entwickelten Material im FFF-Verfahren feine Strukturen und Überhänge gedruckt und sogar Freiflächen ohne Stützstruktur überbrückt werden können.



**Bild 8** Gedruckte Beispiele links: Turm, rechts: Dispenserschnecke aus dem SFB 499 (Zahlenangabe in cm) (© Nötzel, KIT)

#### 4. Zusammenfassung

Es wurden aus hochgefüllten Materialien keramische Bauteile mittels FFF-Verfahren hergestellt, welches sich durch niedrige Anschaffungs-, Unterhalts- und Materialkosten auszeichnet. Dabei wurde gezeigt, dass mit diesem Verfahren Bauteile hergestellt werden können, die eine relative Dichte von größer als 99,5 % und Toleranzen unter 2 % in der Druckebene und unter 5 % in der Höhe aufweisen, wobei die Toleranzen der geometrischen Abmessungen weder vom Füllgrad noch von der Binderzusammensetzung beeinflusst werden. Die Dichten hängen vom Füllgrad der Materialien ab und werden bei hohen Füllgraden indirekt von der Schmelzrheologie beeinflusst. Sinterergebnisse von unverarbeiteten Filamenten zeigen, dass die Materialien mit 55 vol.-% potentiell die höchsten Dichten liefern, jedoch liegen die gedruckten Bauteile aufgrund der hohen Viskositäten und Fließgrenzen des Feedstocks weit darunter. Die reproduzierbarsten und höchsten Sinterdichten werden mit Feststoffgehalten von 50 vol.-% erreicht, was ein guter Kompromiss zwischen dem Füllgrad und der Verarbeitbarkeit ist. Somit ist es gelungen, mit dem FFF-Verfahren dichte Bauteile herzustellen, welche beispielsweise als funktionelle Prototypen eingesetzt werden können. ◀

#### Literaturhinweise

- [1] Gonzalez-Gutierrez, J., Cano, S., Schuschnigg, S., Kukla, C., Sapkota, J., Holzer, C.: Additive Manufacturing of Metallic and Ceramic Components by the Material Extrusion of Highly-Filled Polymers: A Review and Future Perspectives. *Materials* 11 (2018) [5] 480
- [2] Nötzel, D., Eickhoff, R., Hanemann, T.: Fused Filament Fabrication of Small Ceramic Components. *Materials* 11 (2018) [8] 1463
- [3] Agarwala, M.K., Jamalabad, V.R., Langrana, N.A., Noshir, A., Safari, A., Whalen, P.J., Danforth, S.C.: Structural quality of parts processed by fused deposition. *Rapid Prototyping Journal* 2 (1996) [4] 4-19

#### Danksagung

Die Autoren danken der DFG für die freundliche Förderung der Arbeiten (Förderkennzeichen HA 1924 17-1).

- [1] 1 Karlsruhe Institut für Technologie, Institut für Angewandte Materialien, Institut für Werkstoffkunde, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
- [2] 2 Universität Karlsruhe, Institut für Mikrosystemtechnik, 79110 Freiburg

# VEREDELN SIE IHR WISSEN

MIT DER NUMMER 1 DER OBERFLÄCHENTECHNIK\*



Sie wollen wissen, was unter der Oberfläche steckt. JOT ist das Magazin, mit dem Sie Ihr Wissen im Bereich Oberflächentechnik veredeln können. Praxisnah und anwenderorientiert. Lesen Sie 12 Ausgaben plus mind. fünf Specials zum Vorzugspreis. Inklusive E-Magazin, freiem Zugriff auf das Online-Fachartikel-Archiv, Newsletter und Webportal: [www.jot-oberflaeche.de](http://www.jot-oberflaeche.de)



\* Nr. 1 bezogen auf die verkaufte Auflage laut IVW vom 30.06.2016: 1.469 Exemplare

Testen Sie jetzt JOT.  
Die ganze Vielfalt unter:  
[www.meinfachwissen.de/jot](http://www.meinfachwissen.de/jot)

## ■ Impressum

# KERAMISCHE

## ZEITSCHRIFT

Ausgabe 6 | 2019, 71. Jahrgang  
ISSN (Print) 0023-0561 | ISSN (Online) 2523-8949

### Verlag

Springer Vieweg  
Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH  
Abraham-Lincoln-Straße 46 | 65189 Wiesbaden

### Geschäftsführer

Stefanie Burgmaier, Joachim Krieger, Juliane Ritt

### Redaktion

#### Chefredakteur

(verantwortlich für den redaktionellen Inhalt)  
Dr. rer. nat. Hubert Pelc  
tel. +49 (0) 611.7878-283  
fax +49 (0) 611.7878-78283  
hubert.pelc@springer.com

#### Verantwortliche Redakteurin

Leyla Buchholz, MSc.  
tel. +49 (0) 611 7878-262  
fax +49 (0) 611 7878-78262  
leyla.buchholz@springernature.com

#### Redaktionelle Mitarbeit

Dr.-Ing. Paul-Eberhard Keilbar  
tel. +49 (0) 341 9410237  
keilbar@t-online.de

#### Redaktionsassistentz

Hilde Hegmann  
tel. +49 (0) 89.203043-2243  
fax +49 (0) 89.203043-2265  
hilde.hegmann@springer.com

#### Redaktionskomitee

Vorsitzender: G. Klein (Deutschland)  
H. Brückner (Österreich), D. R. Dinger (USA),  
F. Kerbe (Deutschland), O. Krause (Deutschland),  
W. Kollenberg (Deutschland), J. H. Mendheim  
(Deutschland), H. Mörtel (Deutschland),  
A. Ravaglioli (Italien), M. Röhrs (Deutschland),  
G. Routschka (Deutschland), L. Schyia (Deutsch-  
land), J. Werner (Deutschland)

#### Anzeigen, Marketing und Produktion

##### Leiter Media Sales

Volker Hesedenz

##### Leiter Vertrieb und Marketing

Jens Fischer

##### Gesamtleitung Produktion

Ulrike Drechsler

##### Verkaufsleitung

(verantwortlich für den Anzeigenteil):  
Petra Steinmüller  
tel. +49 (0) 611.7878-250  
fax +49 (0) 611.7878-78250  
petra.steinmueller@springer.com

#### Mediaberatung

Lucie Grimm  
lucie.grimm@springer.com  
phone +49 (0) 611.7878-165  
fax +49 (0) 611.7878-405

#### Anzeigendisposition

Katja Lickhardt  
tel. +49 (0) 611.7878-391  
fax +49 (0) 611.7878-443  
katja.lickhardt@springer.com

#### Anzeigenpreise

Es gelten die Medieninformationen  
von Oktober 2019.

#### Produktmanagement

Melanie Engelhard-Gökalp  
tel. +49 (0) 611.7878-315  
fax +49 (0) 611.7878-315  
melanie.engelhard-goekalp@springer.com

#### Satz und Layout

Magazine Team, Scientific Publishing Services,  
Chennai / Indien

#### Produktion

Heiko Köllner | tel. +49 (0) 611.7878-177  
heiko.koellner@springer.com

#### Sonderdrucke

Lucie Grimm  
lucie.grimm@springer.com  
tel. +49 (0) 611.7878-196  
fax +49 (0) 611.7878-405

Alle angegebenen Personen sind, sofern  
nicht ausdrücklich angegeben, postalisch  
unter der Adresse des Verlags erreichbar.

#### Leserservice

Springer Nature Customer Service Center GmbH |  
Springer Vieweg Service  
Tiergartenstraße 15 | 69121 Heidelberg  
tel. +49 (0) 6221.3454-303  
fax +49 (0) 6221.3454-229  
Montag bis Freitag | 8:00–18:00 Uhr  
springervieweg-service@springer.com

#### Druck

Kliemo Printing AG, Hütte 53,  
B-4700 Eupen, Belgien

#### Bezugsmöglichkeiten

Keramische Zeitschrift erscheint im  
Abonnement 5 x jährlich. Bestellmöglichkeiten  
und Details zu den Abonnementbedingungen  
finden Sie unter  
[www.meinfachwissen.de/keramischezeitschrift](http://www.meinfachwissen.de/keramischezeitschrift).

#### EU-Datenschutzgrundverordnung (EU-DSGVO)

Falls Sie die Keramische Zeitschrift nicht im Abon-  
nement beziehen, erhalten Sie diese auf der  
gesetzlichen Grundlage von Artikel 6 Absatz 1 lit.f  
DSGVO. Wenn Sie die kostenlose Leseprobe künf-  
tig nicht mehr von uns erhalten möchten, genügt  
eine kurze formale Nachricht per Fax an: 06123/ 92  
38 -244 oder eine E-Mail an leseprobe@vuservice.  
de. Wir werden Ihre personenbezogenen Daten  
dann nicht mehr für diesen Zweck verarbeiten. Die  
Verarbeitung Ihrer Daten ist gemäß den Bestim-  
mungen der DSGVO. Weitere Infos dazu finden Sie  
im virtuellen Datenschutzbüro der Bundesländer  
unter [www.datenschutz.de](http://www.datenschutz.de).

Alle Rechte vorbehalten.

#### Nachdruck

Die Zeitschrift sowie alle in ihr enthaltenen  
Beiträge einschließlich sämtlicher Abbildun-  
gen, Grafiken und Fotos sind urheberrechtlich  
geschützt. Sofern eine Verwertung nicht aus-  
nahmsweise ausdrücklich vom Urheberrechts-  
gesetz zugelassen ist, bedarf jedwede Verwer-  
tung eines Teils dieser Zeitschrift der vorherigen  
schriftlichen Zustimmung des Verlages. Dies  
gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Nach-  
drucke, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikro-  
verfilmungen, öffentliche Zugänglichmachung  
sowie die Einspeicherung und Verarbeitung  
von Teilen dieser Zeitschrift in Datenbanken  
und anderen elektronischen Systemen und die  
Verbreitung oder Verwertung über elektroni-  
sche Systeme.

Die Artikel von Keramische Zeitschrift sind mit  
größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Die Redaktion  
übernimmt jedoch keine Gewähr für die Richtig-  
keit, Vollständigkeit und Aktualität der abge-  
druckten Inhalte. Für den Inhalt der Werbe-  
anzeigen ist das jeweilige Unternehmen bzw.  
die jeweilige Gesellschaft verantwortlich.

Jedes Jahresabonnement beinhaltet eine  
Freischaltung für das Online-Archiv auf  
[SpringerProfessional.de](http://SpringerProfessional.de) sowie den Zugriff auf  
das E-Magazin ([emag.springerprofessional.de](http://emag.springerprofessional.de)).  
Der Zugang gilt ausschließlich für den Empfän-  
ger des Abonnements.

Für unverlangt eingeschickte Manuskripte,  
Fotos und Illustrationen wird keine Gewähr  
übernommen.

© Springer Vieweg |  
Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH,  
Wiesbaden 2019

Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH ist  
Teil der Fachverlagsgruppe SpringerNature.

## HAUPTGRUPPEN-ÜBERSICHT

- 01 Anlagenbau – Anlagenplanung
- 02 Aufbereitung
- 03 Brennen
- 04 Feuerfest
- 05 Formgebung
- 06 Glasieren – Dekorieren
- 07 Laborgeräte – Laborbedarf
- 08 Messen – Regeln – Steuern
- 09 Rohstoffe – Hilfsstoffe – Massen
- 10 Technische Keramik – Halbzeuge – Fertigteile
- 11 Transportieren – Fördern – Verpacken – Lagern
- 12 Trocknen
- 13 Verbrauchsmaterialien
- 14 Umweltschutz – Arbeitsschutz
- 15 Diverses
- 16 Endbearbeitung – Sortierung
- 17 Service – Lohnarbeiten – Gebrauchsmaschinen – Beratung

## Ist Ihr Angebot vertreten? Oder überlassen Sie der Konkurrenz das Feld?

Das Bezugsquellenverzeichnis der Keramischen Zeitschrift bietet mehr als 5.000 Entscheidern den direkten Zugriff auf die Zulieferer der Keramikbranche – und das für das gesamte Technologiespektrum. Nutzen auch Sie die Gelegenheit, unter einem oder mehreren Stichworten auf Ihr Unternehmen und Ihr Produktangebot hinzuweisen. Sie erleichtern damit potentiellen Kunden den Zugang zu Ihrem Unternehmen.

### Ihre Vorteile

- große Reichweite
- intensive Dauerwirkung
- kostengünstige Werbeform

Sie können Ihr Farblogo über Ihrem Eintrag platzieren.

Preis: 30 € pro Ausgabe.

## Antwortcoupon für Bezugsquelleneinträge • Fax: 0611/7878-405

Bitte veröffentlichen Sie folgenden Eintrag im Bezugsquellenverzeichnis von der Keramischen Zeitschrift:

### Gruppierung (kostenlos)

Hauptgruppe

Untergruppe

Ihr Eintrag kostet pro Druckzeile und Erscheinen € 6,70 + MwSt. Die Gruppierungen sind kostenlos. Der Auftrag gilt zunächst für 1 Jahr (10 Ausgaben). Er verlängert sich automatisch auf das folgende Jahr, sofern keine schriftliche Kündigung vorliegt. Die Abrechnung erfolgt aus buchungstechnischen Gründen jährlich im Voraus. Neuaufnahmen, Änderungen bzw. Kündigungen sind jeweils halbjährlich zum Anzeigenschluss der Januar- und Juli-Ausgabe möglich.

Alle Preise zzgl. MwSt. Unsere AGB finden Sie unter [www.springerfachmedien-wiesbaden.de/agb](http://www.springerfachmedien-wiesbaden.de/agb)

### Eintrag

(max. 26 Anschläge, bei Versalien 22 Anschläge = 1 Druckzeile)

Logo  Ja  Nein

1. Zeile

2. Zeile

3. Zeile

4. Zeile

5. Zeile

Datum

Unterschrift und Firmenstempel

Für weitere Fragen stehen wir Ihnen jederzeit telefonisch (0611/7878-165) oder per E-Mail ([lucie.grimm@springernature.com](mailto:lucie.grimm@springernature.com)) zur Verfügung.

**02 Aufbereitung**

**Beschicker: Kastenbeschicker**

**Ludwig Wery GmbH Maschinenfabrik**  
Kaiserstraße 58-60, 66482 Zweibrücken  
Tel.: +49 (0)6332/3345, Fax: /17506  
info@wery-gmbh.de, www.wery-gmbh.de



**SKM Witte Löhmer GmbH**  
An der Knorr Bremse 3, 58300 Wetter (Ruhr)  
Tel.: +49 (0)2335/8448890, Fax: /8448891  
skm@spezialketten.de, www.spezialketten.de

**Brecher: Walzenbrecher**

**Ludwig Wery GmbH Maschinenfabrik**  
Kaiserstraße 58-60, 66482 Zweibrücken  
Tel.: +49 (0)6332/3345, Fax: /17506  
info@wery-gmbh.de, www.wery-gmbh.de

**Beschicker**

**Ludwig Wery GmbH Maschinenfabrik**  
Kaiserstraße 58-60, 66482 Zweibrücken  
Tel.: +49 (0)6332/3345, Fax: /17506  
info@wery-gmbh.de, www.wery-gmbh.de

**Granulierer, Pelletierer**



**Maschinenfabrik Gustav Eirich GmbH & Co.KG**  
Walldürner Straße 50, 74736 Hardheim  
Tel.: +49 (0)6283/51-0  
eirich@eirich.de, www.eirich.com

**Magnet-Filter**

**Goudsmit Magnetic Systems B.V.**  
Petunialaan 19  
Postfach/ P.O. Box 18, NL-5580 AA Waalre  
Tel.: +31 (0)40/2213283, Fax: /2217325  
info@goudsmit-magnetics.nl,  
www.goudsmit-magnetics.nl

**Magnet-Separatoren**

**GOUDSMIT**  
MAGNETICS GROUP  
Goudsmit Magnetic Systems B.V.  
Petunialaan 19  
Postfach/ P.O. Box 18, NL-5580 AA Waalre  
Tel.: +31 (0)40/2213283, Fax: /2217325  
info@goudsmit-magnetics.nl,  
www.goudsmit-magnetics.nl

**Metallsuchgeräte**

**Goudsmit Magnetic Systems B.V.**  
Petunialaan 19  
Postfach/ P.O. Box 18, NL-5580 AA Waalre  
Tel.: +31 (0)40/2213283, Fax: /2217325  
info@goudsmit-magnetics.nl,  
www.goudsmit-magnetics.nl

**Mischkneiter**



**Maschinenfabrik Gustav Eirich GmbH & Co.KG**  
Walldürner Straße 50, 74736 Hardheim  
Tel.: +49 (0)6283/51-0  
eirich@eirich.de, www.eirich.com

**Mühlen: Hammermühlen**

**Ludwig Wery GmbH Maschinenfabrik**  
Kaiserstraße 58-60, 66482 Zweibrücken  
Tel.: +49 (0)6332/3345, Fax: /17506  
info@wery-gmbh.de, www.wery-gmbh.de

**Mühlen: Prallmühlen**

**Ludwig Wery GmbH Maschinenfabrik**  
Kaiserstraße 58-60, 66482 Zweibrücken  
Tel.: +49 (0)6332/3345, Fax: /17506  
info@wery-gmbh.de, www.wery-gmbh.de

**Beschicker: Großraumbeschicker**



**A. Hässler Anlagenbau GmbH**  
Jahnstraße 45, 89155 Erbach  
Tel.: +49 (0)7305/8060, Fax: /22382  
haessler-anlagenbau@t-online.de

**Mühlen: Rührwerkskugelmühlen**



**Maschinenfabrik Gustav Eirich GmbH & Co.KG**  
Walldürner Straße 50, 74736 Hardheim  
Tel.: +49 (0)6283/51-0  
eirich@eirich.de, www.eirich.com

**03 Brennen**

**Brenneranlagen**



**A. Hässler Anlagenbau GmbH**  
Jahnstraße 45, 89155 Erbach  
Tel.: +49 (0)7305/8060, Fax: /22382  
haessler-anlagenbau@t-online.de

**Brennwagen**



**A. Hässler Anlagenbau GmbH**  
Jahnstraße 45, 89155 Erbach  
Tel.: +49 (0)7305/8060, Fax: /22382  
haessler-anlagenbau@t-online.de

**Imerys Kiln Furniture**  
Erzsébeti út 7, HU-6800 Hódmezővásárhely  
Tel.: +36 (0)62/242914, Fax: /24563  
contact@ikf-solutions.com,  
www.ikf-solutions.com

**Öfen**



**CTB GmbH**  
Industriestraße 16, 12099 Berlin  
Tel.: +49 (0)30/3409560, Fax: /34095699  
mail@ctb-berlin.de, www.ctb-berlin.de



**Harrop Industries, Inc.**  
3470 East Fifth Avenue, USA-Columbus,  
OH 43219  
Tel.: +1-614-231/3621, Fax: /3699  
info@harropusa.com, www.harropusa.com



**Keramischer OFENBAU GmbH**  
Benzstr.5, 31135 Hildesheim  
Tel.: +49 (0)5121/474700, Fax: /747474  
info@keramischerofenbau.de,  
www.keramischerofenbau.de



**RIEDHAMMER**  
committed to your needs

**Riedhammer GmbH**  
Klingenhofstraße 72, 90411 Nürnberg  
Tel.: +49 (0)911/5218-0, Fax: /5218-231  
mail@riedhammer.de, www.riedhammer.de

**Öfen: Kammeröfen**



**CTB GmbH**  
Industriestraße 16, 12099 Berlin  
Tel.: +49 (0)30/3409560, Fax: /34095699  
mail@ctb-berlin.de, www.ctb-berlin.de



**RIEDHAMMER**  
committed to your needs

**Riedhammer GmbH**  
Klingenhofstraße 72, 90411 Nürnberg  
Tel.: +49 (0)911/5218-0, Fax: /5218-231  
mail@riedhammer.de, www.riedhammer.de

**Öfen: Bandöfen**



**Harrop Industries, Inc.**  
3470 East Fifth Avenue, USA-Columbus,  
OH 43219  
Tel.: +1-614-231/3621, Fax: /3699  
info@harropusa.com, www.harropusa.com



**LINN-High-Therm GmbH**  
Heinrich-Hertz-Platz 1, 92275 Eschenfelden  
Tel.: +49 (0)9665/91400, Fax: /1720  
info@linn.de, www.linn.de



**RIEDHAMMER**  
committed to your needs

**Riedhammer GmbH**  
Klingenhofstraße 72, 90411 Nürnberg  
Tel.: +49 (0)911/5218-0, Fax: /5218-231  
mail@riedhammer.de, www.riedhammer.de



**Tridelta Thermprozess GmbH**  
Marie-Curie-Straße 14, 07629 Hermsdorf  
Tel.: +49 (0)36601/9389-0, Fax: /9389-99  
info@tridelta-thermprozess.de,  
www.tridelta-thermprozess.de

**Öfen: Dekoröfen**



**RIEDHAMMER**  
committed to your needs

**Riedhammer GmbH**  
Klingenhofstraße 72, 90411 Nürnberg  
Tel.: +49 (0)911/5218-0, Fax: /5218-231  
mail@riedhammer.de, www.riedhammer.de

**Öfen: Elektroöfen**



**CTB GmbH**  
Industriestraße 16, 12099 Berlin  
Tel.: +49 (0)30/3409560, Fax: /34095699  
mail@ctb-berlin.de, www.ctb-berlin.de



**Harrop Industries, Inc.**  
3470 East Fifth Avenue, USA-Columbus,  
OH 43219  
Tel.: +1-614-231/3621, Fax: /3699  
info@harropusa.com, www.harropusa.com



**Harrop Industries, Inc.**  
3470 East Fifth Avenue, USA-Columbus,  
OH 43219  
Tel.: +1-614-231/3621, Fax: /3699  
info@harropusa.com, www.harropusa.com



**RIEDHAMMER**  
committed to your needs

**Riedhammer GmbH**  
Klingenhofstraße 72, 90411 Nürnberg  
Tel.: +49 (0)911/5218-0, Fax: /5218-231  
mail@riedhammer.de, www.riedhammer.de

Öfen: Elevatoröfen



**RIEDHAMMER**  
committed to your needs

**Riedhammer GmbH**  
Klingenhofstraße 72, 90411 Nürnberg  
Tel.: +49 (0)911/5218-0, Fax: /5218-231  
mail@riedhammer.de, www.riedhammer.de

Öfen: gas-/vakuumdichte  
Hochtemperaturöfen



**Harrop Industries, Inc.**  
3470 East Fifth Avenue, USA-Columbus,  
OH 43219  
Tel.: +1-614-231/3621, Fax: /3699  
info@harropusa.com, www.harropusa.com



**RIEDHAMMER**  
committed to your needs

**Riedhammer GmbH**  
Klingenhofstraße 72, 90411 Nürnberg  
Tel.: +49 (0)911/5218-0, Fax: /5218-231  
mail@riedhammer.de, www.riedhammer.de



**LINN-High-Therm GmbH**  
Heinrich-Hertz-Platz 1, 92275 Eschenfelden  
Tel.: +49 (0)9665/91400, Fax: /1720  
info@linn.de, www.linn.de



**Tridelta Thermprozess GmbH**  
Marie-Curie-Straße 14, 07629 Hermsdorf  
Tel.: +49 (0)36601/9389-0, Fax: /9389-99  
info@tridelta-thermprozess.de,  
www.tridelta-thermprozess.de

Öfen: periodische Öfen



**RIEDHAMMER**  
committed to your needs

**Riedhammer GmbH**  
Klingenhofstraße 72, 90411 Nürnberg  
Tel.: +49 (0)911/5218-0, Fax: /5218-231  
mail@riedhammer.de, www.riedhammer.de

Öfen: Töpferöfen



**LINN-High-Therm GmbH**  
Heinrich-Hertz-Platz 1, 92275 Eschenfelden  
Tel.: +49 (0)9665/91400, Fax: /1720  
info@linn.de, www.linn.de

Öfen: Durchschuböfen



**Harrop Industries, Inc.**  
3470 East Fifth Avenue, USA-Columbus,  
OH 43219  
Tel.: +1-614-231/3621, Fax: /3699  
info@harropusa.com, www.harropusa.com



**RIEDHAMMER**  
committed to your needs

**Riedhammer GmbH**  
Klingenhofstraße 72, 90411 Nürnberg  
Tel.: +49 (0)911/5218-0, Fax: /5218-231  
mail@riedhammer.de, www.riedhammer.de

Öfen: Schnellbrandöfen



**Harrop Industries, Inc.**  
3470 East Fifth Avenue, USA-Columbus,  
OH 43219  
Tel.: +1-614-231/3621, Fax: /3699  
info@harropusa.com, www.harropusa.com



**A. Hässler Anlagenbau GmbH**  
Jahnstraße 45, 89155 Erbach  
Tel.: +49 (0)7305/8060, Fax: /22382  
haessler-anlagenbau@t-online.de



**RIEDHAMMER**  
committed to your needs

**Riedhammer GmbH**  
Klingenhofstraße 72, 90411 Nürnberg  
Tel.: +49 (0)911/5218-0, Fax: /5218-231  
mail@riedhammer.de, www.riedhammer.de

Öfen: Rollenöfen



**Tridelta Thermprozess GmbH**  
Marie-Curie-Straße 14, 07629 Hermsdorf  
Tel.: +49 (0)36601/9389-0, Fax: /9389-99  
info@tridelta-thermprozess.de,  
www.tridelta-thermprozess.de

Öfen: Rollenöfen



**CTB GmbH**  
Industriestraße 16, 12099 Berlin  
Tel.: +49 (0)30/3409560, Fax: /34095699  
mail@ctb-berlin.de, www.ctb-berlin.de



**Harrop Industries, Inc.**  
3470 East Fifth Avenue, USA-Columbus,  
OH 43219  
Tel.: +1-614-231/3621, Fax: /3699  
info@harropusa.com, www.harropusa.com



**Keramischer OFENBAU GmbH**  
Benzstr.5, 31135 Hildesheim  
Tel.: +49 (0)5121/474700, Fax: /47474  
info@keramischerofenbau.de,  
www.keramischerofenbau.de



**RIEDHAMMER**  
committed to your needs

**Riedhammer GmbH**  
Klingenhofstraße 72, 90411 Nürnberg  
Tel.: +49 (0)911/5218-0, Fax: /5218-231  
mail@riedhammer.de  
www.riedhammer.de



**Tridelta Thermprozess GmbH**  
Marie-Curie-Straße 14, 07629 Hermsdorf  
Tel.: +49 (0)36601/9389-0, Fax: /9389-99  
info@tridelta-thermprozess.de,  
www.tridelta-thermprozess.de

Öfen: Hochtemperaturöfen



**CTB GmbH**  
Industriestraße 16, 12099 Berlin  
Tel.: +49 (0)30/3409560, Fax: /34095699  
mail@ctb-berlin.de, www.ctb-berlin.de



**Harrop Industries, Inc.**  
3470 East Fifth Avenue, USA-Columbus,  
OH 43219  
Tel.: +1-614-231/3621, Fax: /3699  
info@harropusa.com, www.harropusa.com

**Öfen: Herdwagenöfen**



**CTB GmbH**  
 Industriestraße 16, 12099 Berlin  
 Tel.: +49 (0)30/3409560, Fax: /34095699  
 mail@ctb-berlin.de  
 www.ctb-berlin.de



**Harrop Industries, Inc.**  
 3470 East Fifth Avenue, USA-Columbus,  
 OH 43219  
 Tel.: +1-614-231/3621, Fax: /3699  
 info@harropusa.com  
 www.harropusa.com



**A. Hässler Anlagenbau GmbH**  
 Jahnstraße 45, 89155 Erbach  
 Tel.: +49 (0)7305/8060, Fax: /22382  
 haessler-anlagenbau@t-online.de



**Keramischer OFENBAU GmbH**  
 Benzstr.5, 31135 Hildesheim  
 Tel.: +49 (0)5121/474700, Fax: /747474  
 info@keramischerofenbau.de  
 www.keramischerofenbau.de



**RIEDHAMMER**  
 committed to your needs

**Riedhammer GmbH**  
 Klingenhofstraße 72, 90411 Nürnberg  
 Tel.: +49 (0)911/5218-0, Fax: /5218-231  
 mail@riedhammer.de, www.riedhammer.de

**Tridelta Thermprozess GmbH**  
 Marie-Curie-Straße 14, 07629 Hermsdorf  
 Tel.: +49 (0)36601/9389-0, Fax: /9389-99  
 info@tridelta-thermprozess.de  
 www.tridelta-thermprozess.de

**Öfen: Temperöfen**

**Carbolite GmbH**  
 Hesselbachstraße 15, 75242 Neuhausen  
 Tel.: +49 (0)7234/9522-0, Fax: /952266  
 info@carbolite-gero.com  
 www.carbolite-gero.com

**Öfen: Haubenöfen**



**CTB GmbH**  
 Industriestraße 16, 12099 Berlin  
 Tel.: +49 (0)30/3409560, Fax: /34095699  
 mail@ctb-berlin.de  
 www.ctb-berlin.de



**Harrop Industries, Inc.**  
 3470 East Fifth Avenue, USA-Columbus,  
 OH 43219  
 Tel.: +1-614-231/3621, Fax: /3699  
 info@harropusa.com, www.harropusa.com



**RIEDHAMMER**  
 committed to your needs

**Riedhammer GmbH**  
 Klingenhofstraße 72, 90411 Nürnberg  
 Tel.: +49 (0)911/5218-0, Fax: /5218-231  
 mail@riedhammer.de, www.riedhammer.de

**Öfen: Tunnelöfen**



**CTB GmbH**  
 Industriestraße 16, 12099 Berlin  
 Tel.: +49 (0)30/3409560, Fax: /34095699  
 mail@ctb-berlin.de, www.ctb-berlin.de



**Harrop Industries, Inc.**  
 3470 East Fifth Avenue, USA-Columbus,  
 OH 43219  
 Tel.: +1-614-231/3621, Fax: /3699  
 info@harropusa.com, www.harropusa.com



**A. Hässler Anlagenbau GmbH**  
 Jahnstraße 45, 89155 Erbach  
 Tel.: +49 (0)7305/8060, Fax: /22382  
 haessler-anlagenbau@t-online.de



**Keramischer OFENBAU GmbH**  
 Benzstr.5, 31135 Hildesheim  
 Tel.: +49 (0)5121/474700, Fax: /747474  
 info@keramischerofenbau.de  
 www.keramischerofenbau.de



**RIEDHAMMER**  
 committed to your needs

**Riedhammer GmbH**  
 Klingenhofstraße 72, 90411 Nürnberg  
 Tel.: +49 (0)911/5218-0, Fax: /5218-231  
 mail@riedhammer.de, www.riedhammer.de

**Tridelta Thermprozess GmbH**  
 Marie-Curie-Straße 14, 07629 Hermsdorf  
 Tel.: +49 (0)36601/9389-0, Fax: /9389-99  
 info@tridelta-thermprozess.de  
 www.tridelta-thermprozess.de

**Öfen: Laboröfen**

**Carbolite GmbH**  
 Hesselbachstraße 15, 75242 Neuhausen  
 Tel.: +49 (0)7234/9522-0, Fax: /952266  
 info@carbolite-gero.com  
 www.carbolite-gero.com



**CTB GmbH**  
 Industriestraße 16, 12099 Berlin  
 Tel.: +49 (0)30/3409560, Fax: /34095699  
 mail@ctb-berlin.de, www.ctb-berlin.de



**Grothe Rohstoffe GmbH & Co. KG**  
 Kreuzbreite 16, 31675 Bückeburg  
 Tel.: +49 (0)5722/95130, Fax: +/951360



**LINN-High-Therm GmbH**  
 Heinrich-Hertz-Platz 1, 92275 Eschenfelden  
 Tel.: +49 (0)9665/91400, Fax: /1720  
 info@linn.de, www.linn.de

**Öfen: Muffelöfen**

**Carbolite GmbH**  
 Hesselbachstraße 15, 75242 Neuhausen  
 Tel.: +49 (0)7234/9522-0, Fax: /952266  
 info@carbolite-gero.com  
 www.carbolite-gero.com

**Calcineranlagen**

**Tridelta Thermprozess GmbH**  
 Marie-Curie-Straße 14, 07629 Hermsdorf  
 Tel.: +49 (0)36601/9389-0, Fax: /9389-99  
 info@tridelta-thermprozess.de  
 www.tridelta-thermprozess.de

**Öfen: Sinteröfen**



**Harrop Industries, Inc.**  
 3470 East Fifth Avenue, USA-Columbus,  
 OH 43219  
 Tel.: +1-614-231/3621, Fax: /3699  
 info@harropusa.com, www.harropusa.com



**RIEDHAMMER**  
 committed to your needs

**Riedhammer GmbH**  
 Klingenhofstraße 72, 90411 Nürnberg  
 Tel.: +49 (0)911/5218-0, Fax: /5218-231  
 mail@riedhammer.de, www.riedhammer.de

**Öfen: Drehrohröfen**



**Harrop Industries, Inc.**  
 3470 East Fifth Avenue, USA-Columbus,  
 OH 43219  
 Tel.: +1-614-231/3621, Fax: /3699  
 info@harropusa.com, www.harropusa.com



**LINN-High-Therm GmbH**  
 Heinrich-Hertz-Platz 1, 92275 Eschenfelden  
 Tel.: +49 (0)9665/91400, Fax: /1720  
 info@linn.de, www.linn.de



**RIEDHAMMER**  
 committed to your needs

**Riedhammer GmbH**  
 Klingenhofstraße 72, 90411 Nürnberg  
 Tel.: +49 (0)911/5218-0, Fax: /5218-231  
 mail@riedhammer.de, www.riedhammer.de



**Tridelta Thermprozess GmbH**  
 Marie-Curie-Straße 14, 07629 Hermsdorf  
 Tel.: +49 (0)36601/9389-0, Fax: /9389-99  
 info@tridelta-thermprozess.de  
 www.tridelta-thermprozess.de

**Öfen: Mikrowellenöfen**



**Harrop Industries, Inc.**  
 3470 East Fifth Avenue, USA-Columbus,  
 OH 43219  
 Tel.: +1-614-231/3621, Fax: /3699  
 info@harropusa.com, www.harropusa.com



**LINN-High-Therm GmbH**  
 Heinrich-Hertz-Platz 1, 92275 Eschenfelden  
 Tel.: +49 (0)9665/91400, Fax: /1720  
 info@linn.de, www.linn.de

**Öfen: Mikrowellenbanddurchlauföfen**



**LINN-High-Therm GmbH**  
 Heinrich-Hertz-Platz 1, 92275 Eschenfelden  
 Tel.: +49 (0)9665/91400, Fax: /1720  
 info@linn.de, www.linn.de

**Öfen: Vakuumsinteröfen**



**LINN-High-Therm GmbH**  
Heinrich-Hertz-Platz 1, 92275 Eschenfelden  
Tel.: +49 (0)9665/91400, Fax: /1720  
info@linn.de, www.linn.de

**Öfen: gas-/vakuumdichte Drehrohröfen**



**LINN-High-Therm GmbH**  
Heinrich-Hertz-Platz 1, 92275 Eschenfelden  
Tel.: +49 (0)9665/91400, Fax: /1720  
info@linn.de, www.linn.de



**Tridelta Thermprozess GmbH**  
Marie-Curie-Straße 14, 07629 Hermsdorf  
Tel.: +49 (0)36601/9389-0, Fax: /9389-99  
info@tridelta-thermprozess.de  
www.tridelta-thermprozess.de

**Öfen: Rohröfen**



**LINN-High-Therm GmbH**  
Heinrich-Hertz-Platz 1, 92275 Eschenfelden  
Tel.: +49 (0)9665/91400, Fax: /1720  
info@linn.de, www.linn.de

**Öfen: Faserziehöfen**



**LINN-High-Therm GmbH**  
Heinrich-Hertz-Platz 1, 92275 Eschenfelden  
Tel.: +49 (0)9665 91400, Fax: /1720  
info@linn.de, www.linn.de

**Kristallziehanlagen**



**LINN-High-Therm GmbH**  
Heinrich-Hertz-Platz 1, 92275 Eschenfelden  
Tel.: +49 (0)9665/91400, Fax: /1720  
info@linn.de, www.linn.de

**04 Feuerfest**

**Asbestersatzprodukte**



**Etex Building Performance GmbH Promat Industry**  
Scheifenkamp 16, 40878 Ratingen  
Tel.: +49 (0)2102/493-0  
industry.verkauf@promat.de  
www.promat-industry.de

**Kassetten: H-Kassetten**

**Imerys Kiln Furniture**  
Erzsébeti út 7, HU-6800 Hódmezővásárhely  
Tel.: +36 (0)62/242914, Fax: /24563  
contact@ikf-solutions.com,  
www.ikf-solutions.com

**Isolierstoffe: Hochtemperaturisoliermaterial**



**Etex Building Performance GmbH Promat Industry**  
Scheifenkamp 16, 40878 Ratingen  
Tel.: +49 (0)2102/493-0  
industry.verkauf@promat.de  
www.promat-industry.de



**M.E. SCHUPP Industriekeramik GmbH**  
Neuhausstraße 4-10, 52078 Aachen  
Tel.: +49 (0)241/93677-0, Fax: /93677-15  
info@schupp-ceramics.com,  
www.schupp-ceramics.com

**Faserauskleidungen**



**Etex Building Performance GmbH Promat Industry**  
Scheifenkamp 16, 40878 Ratingen  
Tel.: +49 (0)2102/493-0  
industry.verkauf@promat.de  
www.promat-industry.de

**Feuerfest: Auskleidungen**



**Etex Building Performance GmbH Promat Industry**  
Scheifenkamp 16, 40878 Ratingen  
Tel.: +49 (0)2102/493-0  
industry.verkauf@promat.de  
www.promat-industry.de

**Feuerfest: Binder, flüssig**



**Chemische Fabrik Budenheim KG**  
Rheinstraße 27, 55253 Budenheim  
Tel.: +49 (0)6139/890, Fax: /89264  
info@budenheim.com  
www.budenheim.com

**Feuerfest: Binder, pulverförmig**



**Chemische Fabrik Budenheim KG**  
Rheinstraße 27, 55253 Budenheim  
Tel.: +49 (0)6139/890, Fax: /89264  
info@budenheim.com  
www.budenheim.com

**Feuerfest: Brennerrohre**



**KI Keramik-Institut GmbH**  
Ossietzkystraße 37 a, 01662 Meißen  
Tel.: +49(0)3521/463-515, Fax: /463516  
info@keramikinstitut.de,  
www.keramikinstitut.de

**Feuerfest: Ofenwagenaufmauerungen**



**VGT-DYKO GmbH**  
Grossalmeroder Str. 18,  
37247 Grossalmerode  
Tel.: +49 (0)5604/934-0, Fax: /934-289  
info@vgt-dyko.com, www.vgt-dyko.com

**Brennhilfsmittel**

**Imerys Kiln Furniture**  
Erzsébeti út 7, HU-6800 Hódmezővásárhely  
Tel.: +36 (0)62/242914, Fax: /24563  
contact@ikf-solutions.com,  
www.ikf-solutions.com



**Carl Jäger GmbH**  
56206 Hilgert  
Tel.: +49 (0)2624/94169-0, Fax: /94169-29  
info@carl-jaeger.de, www.carl-jaeger.de



**VGT-DYKO GmbH**  
Grossalmeroder Str. 18,  
37247 Grossalmerode  
Tel.: +49 5604/934-0, Fax: /934-289  
info@vgt-dyko.com, www.vgt-dyko.com

**Feuerfest: Binder**



**Almatis GmbH**  
Lyoner Straße 9, 60528 Frankfurt a. M.  
Tel.: +49 (0)69/9573410, Fax: /95734113  
www.almatis.com



**Chemische Fabrik Budenheim KG**  
Rheinstraße 27, 55253 Budenheim  
Tel.: +49 (0)6139/890, Fax: /89264  
info@budenheim.com  
www.budenheim.com



**Zschimmer & Schwarz GmbH & Co KG Chemische Fabriken**  
Max-Schwarz-Straße 3-5, 56112 Lahnstein  
Tel.: +49 (0)2621/12-485, Fax: /12-403  
keramik@zschimmer-schwarz.com,  
www.zschimmer-schwarz.com

**Brennhilfsmittel: aus Wabenkeramik**

**Imerys Kiln Furniture**  
Erzsébeti út 7, HU-6800 Hódmezővásárhely  
Tel.: +36 (0)62/242914, Fax: /24563  
contact@ikf-solutions.com,  
www.ikf-solutions.com

**Feuerfest: Feuerleichtsteine**

**IFB Refractories**  
Route de Vendoeuvres, FR-36500 Buzancais  
Tel.: +33 (0)254/022525, Fax: /841320  
contact@ifbgroup.fr, www.ifbgroup.fr



**Etex Building Performance GmbH Promat Industry**  
Scheifenkamp 16, 40878 Ratingen  
Tel.: +49 (0)2102/493-0  
industry.verkauf@promat.de  
www.promat-industry.de

**Rath Aktiengesellschaft**  
Walfischgasse 14, AT-1010 Wien  
Tel.: +43 (1) 51344270, Fax: /51344272187  
info@rath-group.com,  
www.rath-group.com



**VGT-DYKO GmbH**  
Grossalmeroder Str. 18,  
37247 Grossalmerode  
Tel.: +49 (0)5604/934-0, Fax: /934-289  
info@vgt-dyko.com, www.vgt-dyko.com

**Kassetten: U-Kassetten**

**Imerys Kiln Furniture**  
Erzsébeti út 7, HU-6800 Hódmezővásárhely  
Tel.: +36 (0)62/242914, Fax: /24563  
contact@ikf-solutions.com,  
www.ikf-solutions.com

**Kapseln: SiC-Kapseln**

**Imerys Kiln Furniture**  
Erzsébeti út 7, HU-6800 Hódmezővásárhely  
Tel.: +36 (0)62/242914, Fax: /24563  
contact@ikf-solutions.com,  
www.ikf-solutions.com

**Kassetten: für Dachziegel**

**Imerys Kiln Furniture**  
Erzsébeti út 7, HU-6800 Hódmezővásárhely  
Tel.: +36 (0)62/242914, Fax: /24563  
contact@ikf-solutions.com,  
www.ikf-solutions.com

**Korrosionsmittel**



**Chemische Fabrik Budenheim KG**  
Rheinstraße 27, 55253 Budenheim  
Tel.: +49 (0)6139/890, Fax: /89264  
info@budenheim.com  
www.budenheim.com

**Brennerrohre aus SiSiC**

**Imerys Kiln Furniture**  
Erzsébeti út 7, HU-6800 Hódmezővásárhely  
Tel.: +36 (0)62/242914, Fax: /24563  
contact@ikf-solutions.com,  
www.ikf-solutions.com

**Brennerrohre aus SSIC**

**Imerys Kiln Furniture**  
Erzsébeti út 7, HU-6800 Hódmezővásárhely  
Tel.: +36 (0)62/242914, Fax: /24563  
contact@ikf-solutions.com,  
www.ikf-solutions.com

**Brennhilfsmittel: SiSiC und SSiC**

**Imerys Kiln Furniture**  
Erzsébeti út 7, HU-6800 Hódmezővásárhely  
Tel.: +36 (0)62/242914, Fax: /24563  
contact@ikf-solutions.com,  
www.ikf-solutions.com

**Isolierstoffe: mikroporöse Dämmstoffe**



**Almatis GmbH**  
Lyoner Straße 9, 60528 Frankfurt a. M.  
Tel.: +49 (0)69/9573410, Fax: /95734113  
www.almatis.com



**Etex Building Performance GmbH**  
**Promat Industry**  
Scheifenkamp 16, 40878 Ratingen  
Tel.: +49 (0)2102/493-0  
industry.verkauf@promat.de  
www.promat-industry.de

**Brennhilfsmittel: RSiC**

**Imerys Kiln Furniture**  
Erzsébeti út 7, HU-6800 Hódmezővásárhely  
Tel.: +36 (0)62/242914, Fax: /24563  
contact@ikf-solutions.com,  
www.ikf-solutions.com

**Brennhilfsmittel: NSiC**

**Imerys Kiln Furniture**  
Erzsébeti út 7, HU-6800 Hódmezővásárhely  
Tel.: +36 (0)62/242914, Fax: /24563  
contact@ikf-solutions.com,  
www.ikf-solutions.com

**Feuerfest: Spinell (Magnesiumaluminat)**



**Almatis GmbH**  
Lyoner Straße 9, 60528 Frankfurt a. M.  
Tel.: +49 (0)69/9573410, Fax: /95734113  
www.almatis.com

**Feuerfest: Zemente: Calciumaluminatzement**



**Almatis GmbH**  
Lyoner Straße 9, 60528 Frankfurt a. M.  
Tel.: +49 (0)69/9573410, Fax: /95734113  
www.almatis.com

**Ceske Lupkove Zavody a.s.**  
P.O. Box c.p. 11 71, CZ-27101 Nove Straseci  
Tel.: +420 (0)31357/4084, Fax: /2131  
refracer@refracer.cz  
www.cluz.cz



**Dislich & Kempkes GmbH**  
Sympherstr. 101, 47138 Duisburg-Meiderich  
Tel.: +49 (0)203/445012, Fax: /445014  
info@dislich-kempkes.de,  
www.dislich-kempkes.de

**Formteile: keramikfaserfrei, vakuumgeformt**



**M.E. SCHUPP**  
**Industriekeramik GmbH**  
Neuhausstraße 4 -10, 52078 Aachen  
Tel.: +49 (0)241/93677-0, Fax: /93677-15  
info@schupp-ceramics.com,  
www.schupp-ceramics.com

**Isolierstoffe: Calciumsilicatplatten**



**Etex Building Performance GmbH**  
**Promat Industry**  
Scheifenkamp 16, 40878 Ratingen  
Tel.: +49 (0)2102/493-0  
industry.verkauf@promat.de  
www.promat-industry.de

**Auskleidungen aus Hochtemperaturwolle**

**Rath Aktiengesellschaft**  
Walfischgasse 14, AT-1010 Wien  
Tel.: +43 (1) 51344270, Fax: /51344272187  
info@rath-group.com,  
www.rath-group.com



**M.E. SCHUPP**  
**Industriekeramik GmbH**  
Neuhausstraße 4 -10, 52078 Aachen  
Tel.: +49 (0)241/93677-0, Fax: /93677-15  
info@schupp-ceramics.com,  
www.schupp-ceramics.com

**Hochtemperaturwolle**

**Rath Aktiengesellschaft**  
Walfischgasse 14, AT-1010 Wien  
Tel.: +43 (1) 51344270, Fax: /51344272187  
info@rath-group.com,  
www.rath-group.com



**M.E. SCHUPP**  
**Industriekeramik GmbH**  
Neuhausstraße 4 -10, 52078 Aachen  
Tel.: +49 (0)241/93677-0, Fax: /93677-15  
info@schupp-ceramics.com  
www.schupp-ceramics.com

**Hochtemperaturwolle: vakuumgeformt**

**Rath Aktiengesellschaft**  
Walfischgasse 14, AT-1010 Wien  
Tel.: +43 (1) 51344270, Fax: /51344272187  
info@rath-group.com,  
www.rath-group.com



**M.E. SCHUPP**  
**Industriekeramik GmbH**  
Neuhausstraße 4 -10, 52078 Aachen  
Tel.: +49 (0)241/93677-0, Fax: /93677-15  
info@schupp-ceramics.com,  
www.schupp-ceramics.com

**05 Formgebung**

**Pressen: Strangpressen**



**LOOMIS PRODUCTS Kahlefeld GmbH**  
Stockwiesen 3, 67659 Kaiserslautern  
Tel.: +49 (0)6301/7999970, Fax: /7999992  
info@loomis-gmbh.de,  
www.loomis-gmbh.de

**Pressen: Vakuumstrangpressen**



**LOOMIS PRODUCTS Kahlefeld GmbH**  
Stockwiesen 3, 67659 Kaiserslautern  
Tel.: +49 6301/7999970, Fax: /7999992  
info@loomis-gmbh.de,  
www.loomis-gmbh.de

**Pressen: hydraulische Pressen**



**KOMAGE Gellner Maschinenfabrik KG**  
Dr. Hermann-Gellner-Straße 1,  
54427 Kell am See  
Tel.: +49 (0)6589/9142 0, Fax: /914219  
info@komage.de, www.komage.de

**Pressen: heißisostatische Pressen**



**EPSI NV**  
**(Engineered Pressure Systems Int. NV)**  
Walgoedstraat 19, BE-9140 Temse  
Tel.: +323/7112464, Fax: /7111870  
epsi@epsi.be, www.epsi-highpressure.com

**SchwammbanStreifen (glatt oder profiliert)**

**Zervos GmbH & Co. KG**  
86911 Diessen/Ammersee  
Tel.: +49(0)8807/1704, Fax: /5054  
info@zervos-sponges.com  
www.zervos-sponges.com

**Schwammrollen**

**Zervos GmbH & Co. KG**  
86911 Diessen/Ammersee  
Tel.: +49(0)8807/1704, Fax: /5054  
info@zervos-sponges.com  
www.zervos-sponges.com

**Pressen: kaltisostatische Pressen**



**EPSI NV**  
**(Engineered Pressure Systems Int. NV)**  
Walgoedstraat 19, BE-9140 Temse  
Tel.: +32 (0)3711/2464, Fax: /1870  
epsi@epsi.be, www.epsi-highpressure.com



**LOOMIS PRODUCTS Kahlefeld GmbH**  
Stockwiesen 3, 67659 Kaiserslautern  
Tel.: +49 (0)6301/7999970, Fax: /7999992  
info@loomis-gmbh.de,  
www.loomis-gmbh.de

**Pressen: mechanische Pressen**



**KOMAGE Gellner Maschinenfabrik KG**  
Dr. Hermann-Gellner-Straße 1,  
54427 Kell am See  
Tel.: +49 (0)6589/9142 0, Fax: /914219  
info@komage.de, www.komage.de

**Formen, Modelle, Entwürfe**



**Atelier für moderne Formgestaltung Helmut Hartenfels**  
 Krugbäckerstraße 14,  
 56235 Ransbach-Baumbach  
 Tel.: +49 (0)2623/1202, Fax: /80189  
 modellbau-hartenfels@t-online.de,  
 www.hartenfels-gipsformen.de

**Schwämme: Handputzschwämme aus Schwammwerkstoffen**

**Zervos GmbH & Co. KG**  
 86911 Diessen/Ammersee  
 Tel.: +49(0)8807/1704, Fax: /5054  
 info@zervos-sponges.com  
 www.zervos-sponges.com

**06 Glasieren – Dekorieren**

**Farben: keramische**



**REIMBOLD & STRICK Handels- und Entwicklungsgesellschaft für Chemisch-Keramische Produkte mbH**  
 Hansestraße 70, 51149 Köln  
 Tel.: +49 (0)2203/89850, Fax: /8985260  
 info@reibold-und-strick.de,  
 www.reibold-und-strick.de

**Farben: Dekorfarben**



**REIMBOLD & STRICK Handels- und Entwicklungsgesellschaft für Chemisch-Keramische Produkte mbH**  
 Hansestraße 70, 51149 Köln  
 Tel.: +49 (0)2203/89850, Fax: /8985260  
 info@reibold-und-strick.de,  
 www.reibold-und-strick.de

**Dekor-Hilfsmittel**



**Zschimmer & Schwarz GmbH & Co KG Chemische Fabriken**  
 Max-Schwarz-Straße 3-5, 56112 Lahnstein  
 Tel.: +49 (0)2621/12-485, Fax: /12-403  
 keramik@zschimmer-schwarz.com,  
 www.zschimmer-schwarz.com

**Engoben**



**Grothe Rohstoffe GmbH & Co. KG**  
 Kreuzbreite 16, 31675 Bückeburg  
 Tel.: +49 (0)5722/95130, Fax: /951360



**Chem. Fabrik Mineralmahlwerk Kurt Hacke GmbH**  
 Deutscherrenstraße 1, 56179 Vallendar  
 Tel.: +49 (0)261/62095, Fax: /69746  
 info@hacke-engoben.com,  
 www.hacke-engoben.com



**REIMBOLD & STRICK Handels- und Entwicklungsgesellschaft für Chemisch-Keramische Produkte mbH**  
 Hansestraße 70, 51149 Köln  
 Tel.: +49 (0)2203/89850, Fax: /8985260  
 info@reibold-und-strick.de,  
 www.reibold-und-strick.de



**Rheinische Email- und Glasurenfabrik Mondré & Manz GmbH**  
 Steinackerstraße 51, 53840 Troisdorf  
 Tel.: +49 (0)2241/7501516, Fax: /83234  
 info@mondre-und-manz.de  
 www.mondre-und-manz.de



**WENDEL GmbH Email- und Glasurenfabrik**  
 Am Güterbahnhof 30, 35683 Dillenburg  
 Tel.: +49 (0)2771/9060, Fax: /906160  
 info@wendel-email.de,  
 www.wendel-email.de

**Fritten**



**REIMBOLD & STRICK Handels- und Entwicklungsgesellschaft für Chemisch-Keramische Produkte mbH**  
 Hansestraße 70, 51149 Köln  
 Tel.: +49 (0)2203/89850, Fax: /8985260  
 info@reibold-und-strick.de,  
 www.reibold-und-strick.de



**Rheinische Email- und Glasurenfabrik Mondré & Manz GmbH**  
 Steinackerstraße 51, 53840 Troisdorf  
 Tel.: +49 (0)2241/75015/16, Fax: +/83234  
 info@mondre-und-manz.de  
 www.mondre-und-manz.de



**WENDEL GmbH Email- und Glasurenfabrik**  
 Am Güterbahnhof 30, 35683 Dillenburg  
 Tel.: +49 (0)2771/9060, Fax: /906160  
 info@wendel-email.de,  
 www.wendel-email.de

**Glasuren**



**Grothe Rohstoffe GmbH & Co. KG**  
 Kreuzbreite 16, 31675 Bückeburg  
 Tel.: +49 (0)5722/95130, Fax: /951360



**Chem. Fabrik Mineralmahlwerk Kurt Hacke GmbH**  
 Deutscherrenstraße 1, 56179 Vallendar  
 Tel.: +49 (0)261/62095, Fax: /69746  
 info@hacke-engoben.com,  
 www.hacke-engoben.com



**REIMBOLD & STRICK Handels- und Entwicklungsgesellschaft für Chemisch-Keramische Produkte mbH**  
 Hansestraße 70, 51149 Köln  
 Tel.: +49 (0)2203/89850, Fax: /8985260  
 info@reibold-und-strick.de,  
 www.reibold-und-strick.de



**Rheinische Email- und Glasurenfabrik Mondré & Manz GmbH**  
 Steinackerstraße 51, 53840 Troisdorf  
 Tel.: +49 (0)2241/7501516, Fax: /83234  
 info@mondre-und-manz.de  
 www.mondre-und-manz.de



**WENDEL GmbH Email- und Glasurenfabrik**  
 Am Güterbahnhof 30, 35683 Dillenburg  
 Tel.: +49 (0)2771/9060, Fax: /906160  
 info@wendel-email.de,  
 www.wendel-email.de

**Edelmetall-Präparate**



**REIMBOLD & STRICK Handels- und Entwicklungsgesellschaft für Chemisch-Keramische Produkte mbH**  
 Hansestraße 70, 51149 Köln  
 Tel.: +49 (0)2203/89850, Fax: /8985260  
 info@reibold-und-strick.de,  
 www.reibold-und-strick.de

**Siebdruck-Medien**



**Zschimmer & Schwarz GmbH & Co KG Chemische Fabriken**  
 Max-Schwarz-Straße 3-5, 56112 Lahnstein  
 Tel.: +49 (0)2621/12-485, Fax: /12-403  
 keramik@zschimmer-schwarz.com,  
 www.zschimmer-schwarz.com

**Farben: Digitaldruckfarben**



**REIMBOLD & STRICK Handels- und Entwicklungsgesellschaft für Chemisch-Keramische Produkte mbH**  
 Hansestraße 70, 51149 Köln  
 Tel.: +49 (0)2203/89850, Fax: /8985260  
 info@reibold-und-strick.de,  
 www.reibold-und-strick.de



**Zschimmer & Schwarz GmbH & Co KG Chemische Fabriken**  
 Max-Schwarz-Straße 3-5, 56112 Lahnstein  
 Tel.: +49 (0)2621/12-485, Fax: /12-403  
 keramik@zschimmer-schwarz.com,  
 www.zschimmer-schwarz.com

**Farbkörper**



**REIMBOLD & STRICK Handels- und Entwicklungsgesellschaft für Chemisch-Keramische Produkte mbH**  
 Hansestraße 70, 51149 Köln  
 Tel.: +49 (0)2203/89850, Fax: /8985260  
 info@reibold-und-strick.de,  
 www.reibold-und-strick.de

**Glasurhilfsmittel: Stellmittel**



**Zschimmer & Schwarz GmbH & Co KG  
Chemische Fabriken**  
Max-Schwarz-Straße 3-5, 56112 Lahnstein  
Tel.: +49 (0)2621/12-485, Fax: /12-403  
keramik@zschimmer-schwarz.com,  
www.zschimmer-schwarz.com

**Glasurhilfsmittel: Bindemittel**



**Zschimmer & Schwarz GmbH & Co KG  
Chemische Fabriken**  
Max-Schwarz-Straße 3-5, 56112 Lahnstein  
Tel.: +49 (0)2621/12-485, Fax: /12-403  
keramik@zschimmer-schwarz.com,  
www.zschimmer-schwarz.com

**Glasurhilfsmittel:  
Rheologische Bindemittel**



**Zschimmer & Schwarz GmbH & Co KG  
Chemische Fabriken**  
Max-Schwarz-Straße 3-5, 56112 Lahnstein  
Tel.: +49 (0)2621/12-485, Fax: /12-403  
keramik@zschimmer-schwarz.com,  
www.zschimmer-schwarz.com

**07 Laborgeräte –  
Laborbedarf**

**Korngrößen-/  
Partikelformanalysatoren**

**L.U.M. GmbH**  
Rudower Chaussee 29, 12489 Berlin  
Tel.: +49 (0)30/67806030, Fax: /67806058  
info@lum-gmbh.de, www.lum-gmbh.com

**Laborpressen, isostatisch**



**LOOMIS PRODUCTS Kahlefeld GmbH**  
Stockwiesen 3, 67659 Kaiserslautern  
Tel.: +49 (0)6301/7999970, Fax: /7999992  
info@loomis-gmbh.de,  
www.loomis-gmbh.de

**Laborpressen:  
Vakuumstrangpressen**



**LOOMIS PRODUCTS Kahlefeld GmbH**  
Stockwiesen 3, 67659 Kaiserslautern  
Tel.: +49 (0)6301/7999970, Fax: /7999992  
info@loomis-gmbh.de,  
www.loomis-gmbh.de

**Dispersionsstabilität-  
Analysatoren**

**L.U.M. GmbH**  
Rudower Chaussee 29, 12489 Berlin  
Tel.: +49 (0)30/67806030, Fax: /67806058  
info@lum-gmbh.de, www.lum-gmbh.com

**08 Messen – Regeln –  
Steuern**

**Prozessautomatisierungsanlagen**



**A. Hässler Anlagenbau GmbH**  
Jahnstraße 45, 89155 Erbach  
Tel.: +49 (0)7305/8060, Fax: /22382  
haessler-anlagenbau@t-online.de

**09 Rohstoffe – Hilfsstoffe  
– Massen**

**Additive**



**Chemische Fabrik Budenheim KG**  
Rheinstraße 27, 55253 Budenheim  
Tel.: +49 (0)6139/890, Fax: /89264  
info@budenheim.com  
www.budenheim.com



**Zschimmer & Schwarz GmbH & Co KG  
Chemische Fabriken**  
Max-Schwarz-Straße 3-5, 56112 Lahnstein  
Tel.: +49 (0)2621/12-485, Fax: /12-403  
keramik@zschimmer-schwarz.com,  
www.zschimmer-schwarz.com

**Aluminiumoxid: allgemein**



**Almatris GmbH**  
Lyoner Straße 9, 60528 Frankfurt a. M.  
Tel.: +49 (0)69/9573410, Fax: /95734113  
www.almatris.com



**ALTEO**  
Route de Biver - B.P.43,  
FR-13541 GARDANNE CEDEX  
www.alteo-alumina.com



**Martinswerk GmbH**  
Kölner Straße 110, 50127 Bergheim  
Tel.: +49 (0)2271/9020, Fax: /902710  
www.martinswerk.de



**Nabaltec AG**  
Postfach 1860, 92409 Schwandorf  
Tel.: +49 (0)9431/53-234, Fax: /61557  
sales@nabaltec.de, www.nabaltec.de

**Aluminiumoxid: calciniert**



**Almatris GmbH**  
Lyoner Straße 9, 60528 Frankfurt a. M.  
Tel.: +49 (0)69/9573410, Fax: /95734113  
www.almatris.com



**ALTEO**  
Route de Biver - B.P.43,  
FR-13541 GARDANNE CEDEX  
www.alteo-alumina.com



**Nabaltec AG**  
Postfach 1860, 92409 Schwandorf  
Tel.: +49 (0)9431/53-234, Fax: /61557  
sales@nabaltec.de, www.nabaltec.de

**Tabulartonerde**



**Almatris GmbH**  
Lyoner Straße 9, 60528 Frankfurt a. M.  
Tel.: +49 (0)69/9573410, Fax: /95734113  
www.almatris.com

**Aluminiumhydroxid**



**Nabaltec AG**  
Postfach 1860, 92409 Schwandorf  
Tel.: +49 (0)9431/53-234, Fax: /61557  
sales@nabaltec.de, www.nabaltec.de

**Aluminiumnitrid**



**H.C. Starck Surface Technology and  
Ceramic Powders GmbH**  
A part of the Höganäs Group  
Im Schleeke 78-91, 38642 Goslar  
advanced-ceramics@hoganäs.com  
www.hoganäs.com/ceramics

**Bentonit**

**Clariant Produkte  
(Deutschland) GmbH**  
Ostenrieder Straße 15, 85368 Moosburg  
Tel.: +49 (0)8761/82645, Fax: /82512  
albert.stuetzer@clariant.com,  
www.clariant.com

**Calciumcarbonat**



**Vereinigte Kreidewerke Dammann  
GmbH & Co. KG**  
Hildesheimer Straße 3, 31185 Söhlde  
Tel.: +49 (0)5129/78214  
dseemann@dammann.de,  
www.dammann.de

**Hartstoffkomponenten**



**Max Schmidt Feldspatwerke  
„Silbergrube“**  
Silbergrube 1, 92726 Waidhaus  
Tel.: +49 (0)9652/230, Fax: /1532  
info@schmidt-waidhaus.de  
www.schmidt-waidhaus.de

**Massen: Fertigmassen**



**www.goerg-schneider.de**  
**Goerg & Schneider GmbH u. Co. KG**  
Guterborn 1, 56412 Boden  
info@goerg-schneider.de  
www.goerg-schneider.de



**Imerys Tableware Deutschland GmbH**  
Ludwigsmühle 13, 95100 Selb  
Tel.: +49 (0)9287/731312, Fax: /731313  
info@imerys-ceramics.com,  
www.imerys-ceramics.com



**Quarzsandwerke Weissenbrunn**  
Braustraße 19, 96369 Weissenbrunn  
Tel.: +49 (0)9261/628030, Fax: /52224  
info@qsw-weissenbrunn.de,  
www.qsw-weissenbrunn.de



**Arno Witger,**  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Massen: Hobby- und Bastelmassen**



[www.goerg-schneider.de](http://www.goerg-schneider.de)

**Goerg & Schneider GmbH u. Co. KG**  
Guterborn 1, 56412 Boden  
info@goerg-schneider.de  
www.goerg-schneider.de



**Arno Witger,**  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Bornitrid**



**H.C. Starck Surface Technology and Ceramic Powders GmbH**  
A part of the Höganäs Group  
Im Schleeke 78-91, 38642 Goslar  
advanced-ceramics@hoganäs.com  
www.hoganäs.com/ceramics

**Braunstein**



**Grothe Rohstoffe GmbH & Co. KG**  
Kreuzbreite 16, 31675 Bückeburg  
Tel.: +49 (0)5722/95130, Fax: /951360

**Massen: Gießmassen**



[www.goerg-schneider.de](http://www.goerg-schneider.de)

**Goerg & Schneider GmbH u. Co. KG**  
Guterborn 1, 56412 Boden  
info@goerg-schneider.de  
www.goerg-schneider.de



**Imerys Tableware Deutschland GmbH**  
Ludwigmühle 13, 95100 Selb  
Tel.: +49 (0)9287/731312, Fax: /731313  
info@imerys-ceramics.com,  
www.imerys-ceramics.com



**Arno Witger,**  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Schamotte**



**Adolf Gottfried Tonwerke GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de



**Ernst Letschert KG – Mahlwerk**  
Eisensteinstr. 2, 56235 Ransbach-Baumbach  
Tel.: +49 (0)2623/2209, Fax: /1620  
info@letschert-kg.de, www.letschert-kg.de



**Arno Witger,**  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Kaolin, China Clay**



**Imerys Tableware Deutschland GmbH**  
Ludwigmühle 13, 95100 Selb  
Tel.: +49 (0)9287/731312, Fax: /731313  
info@imerys-ceramics.com,  
www.imerys-ceramics.com



**Arno Witger,**  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Chromerz & Chromerzsand, Chromit**



**Grothe Rohstoffe GmbH & Co. KG**  
Kreuzbreite 16, 31675 Bückeburg  
Tel.: +49 (0)5722/95130, Fax: /951360

**Schamottemischung**



**Max Schmidt Feldspatwerke „Silbergrube“**  
Silbergrube 1, 92726 Waidhaus  
Tel.: +49 (0)9652/230, Fax: /1532  
info@schmidt-waidhaus.de  
www.schmidt-waidhaus.de

**Tone: allgemein**



**Adolf Gottfried Tonwerke GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de

**Kaolin- u. Tonwerke Salzmünde GmbH**  
Ziegelei 13, 06198 Salzmünde  
Tel.: +49 (0)34609/20267, Fax: /20220

**Lassmann GmbH & Co. KG**  
Bahnhofstraße 41, 56422 Wirges  
Postfach 1147, 56418 Wirges  
Tel.: +49 (0)2602/94390, Fax: /943939  
info@tonbergbau.de,  
www.tonbergbau.de

**Waldorff'sche Tongruben & Herz GmbH & Co.**  
56412 Boden  
Tel.: +49 (0)2602/927013, Fax: /80437  
wth-ton@wth-ton.de



**Arno Witger,**  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Tone: Ball Clays (plastische Tone)**



[www.goerg-schneider.de](http://www.goerg-schneider.de)

**Goerg & Schneider GmbH u. Co. KG**  
Guterborn 1, 56412 Boden  
info@goerg-schneider.de  
www.goerg-schneider.de

**Imerys Refractory Minerals Glomel**  
43 quai de Grenelle,  
75015 Paris - France  
refractory.minerals@imerys.com,  
www.imerys-refractoryminerals.com

**Kaolin- u. Tonwerke Salzmünde GmbH**  
Ziegelei 13, 06198 Salzmünde  
Tel.: +49 (0)34609/20267, Fax: /20220

**Lassmann GmbH & Co. KG**  
Bahnhofstraße 41, 56422 Wirges  
Postfach 1147, 56418 Wirges  
Tel.: +49 (0)2602/94390, Fax: /943939  
info@tonbergbau.de, www.tonbergbau.de



**Arno Witger,**  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Tone: Gießtone**



[www.goerg-schneider.de](http://www.goerg-schneider.de)

**Goerg & Schneider GmbH u. Co. KG**  
Guterborn 1, 56412 Boden  
info@goerg-schneider.de  
www.goerg-schneider.de

**Kaolin- u. Tonwerke Salzmünde GmbH**  
Ziegelei 13, 06198 Salzmünde  
Tel.: +49 (0)34609/20267, Fax: /20220

**Lassmann GmbH & Co. KG**  
Bahnhofstraße 41, 56422 Wirges  
Postfach 1147, 56418 Wirges  
Tel.: +49 (0)2602/94390, Fax: /943939  
info@tonbergbau.de, www.tonbergbau.de



**THEODOR STEPHAN KG**  
GmbH & Co. KG  
Liebenseider Straße 40, 57299 Burbach  
Tel.: +49 (0)2736/509749-0, Fax: /509749-90  
info@stephan-tonbergbau.de,  
www.stephan-tonbergbau.de



**Arno Witgert,**  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Tone: hellbrennend**



**Adolf Gottfried Tonwerke GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de



**Goerg & Schneider GmbH u. Co. KG**  
Guterborn 1, 56412 Boden  
info@goerg-schneider.de  
www.goerg-schneider.de

**Lassmann GmbH & Co. KG**  
Bahnhofstraße 41, 56422 Wirges  
Postfach 1147, 56418 Wirges  
Tel.: +49 (0)2602/94390, Fax: /943939  
info@tonbergbau.de,  
www.tonbergbau.de

**Waldorff'sche Tongruben & Herz GmbH & Co.**  
56412 Boden  
Tel.: +49 (0)2602/927013, Fax: /80437  
wth-ton@wth-ton.de



**Arno Witgert,**  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Tone: Feuerfestone**



**Adolf Gottfried Tonwerke GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de

**Lassmann GmbH & Co. KG**  
Bahnhofstraße 41, 56422 Wirges  
Postfach 1147, 56418 Wirges  
Tel.: +49 (0)2602/94390, Fax: /943939  
info@tonbergbau.de,  
www.tonbergbau.de

**Waldorff'sche Tongruben & Herz GmbH & Co.**  
56412 Boden  
Tel.: +49 (0)2602/927013, Fax: /80437  
wth-ton@wth-ton.de



**Arno Witgert,**  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Tone: Schiefertone**



**Adolf Gottfried Tonwerke GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de



**THEODOR STEPHAN KG**  
GmbH & Co. KG  
Liebenseider Straße 40, 57299 Burbach  
Tel.: +49 (0)2736/509749-0, Fax: /509749-90  
info@stephan-tonbergbau.de,  
www.stephan-tonbergbau.de



**Arno Witgert,**  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Tone: gelbbrennend**



**Adolf Gottfried Tonwerke GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de

**Waldorff'sche Tongruben & Herz GmbH & Co.**  
56412 Boden  
Tel.: +49 (0)2602/927013, Fax: /80437  
wth-ton@wth-ton.de



**Arno Witgert,**  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Cordierit**



**Adolf Gottfried Tonwerke GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de

**Ceske Luptkove Zavody a.s.**  
P.O. Box c.p. 11 71, CZ-27101 Nove Straseci  
Tel.: +420 (0)31357/4084, Fax: /2131  
refracer@refracer.cz, www.cluz.cz

**Korund**



**Almatis GmbH**  
Lyoner Straße 9, 60528 Frankfurt a. M.  
Tel.: +49 (0)69/9573410, Fax: /95734113  
www.almatis.com

**Feldspat**



**Gottfried Feldspat GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de



**Imerys Tableware Deutschland GmbH**  
Ludwigsmühle 13, 95100 Selb  
Tel.: +49 (0)9287/731312, Fax: /731313  
info@imerys-ceramics.com,  
www.imerys-ceramics.com



**Max Schmidt Feldspatwerke „Silbergrube“**  
Silbergrube 1, 92726 Waidhaus  
Tel.: +49 (0)9652/230, Fax: /1532  
info@schmidt-waidhaus.de  
www.schmidt-waidhaus.de

**Feldspat: Natriumfeldspat**



**Gottfried Feldspat GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de

**Füllstoffe: hell**



**THEODOR STEPHAN KG**  
GmbH & Co. KG  
Liebenseider Straße 40, 57299 Burbach  
Tel.: +49 (0)2736/509749-0, Fax: /509749-90  
info@stephan-tonbergbau.de,  
www.stephan-tonbergbau.de

**Tone: Spezialtone**

**Kaolin- u. Tonwerke Salzmünde GmbH**  
Ziegelei 13, 06198 Salzmünde  
Tel.: +49 (0)34609/20267, Fax: /20220



**THEODOR STEPHAN KG**  
GmbH & Co. KG  
Liebenseider Straße 40, 57299 Burbach  
Tel.: +49 (0)2736/509749-0, Fax: /509749-90  
info@stephan-tonbergbau.de,  
www.stephan-tonbergbau.de

**Waldorff'sche Tongruben & Herz GmbH & Co.**  
56412 Boden  
Tel.: +49 (0)2602/927013, Fax: /80437  
wth-ton@wth-ton.de



**Arno Witgert,**  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Sintermehl**



**INNOVNANO**  
iParque, Lote 13, Apartado 7030,  
3040-570 Antanhol  
Tel.: +351/239002850, Fax: /239002869  
info@innovnano-materials.com,  
www.innovnano-materials.com



**Ernst Letschert KG – Mahlwerk**  
Eisensteinstr. 2, 56235 Ransbach-Baumbach  
Tel.: +49 (0)2623/2209, Fax: /1620  
info@letschert-kg.de, www.letschert-kg.de

**Schamotte: stückig**



www.goerg-schneider.de

**Goerg & Schneider GmbH u. Co. KG**  
Guterborn 1, 56412 Boden  
info@goerg-schneider.de  
www.goerg-schneider.de



**Ernst Letschert KG – Mahlwerk**  
Eisensteinstr. 2, 56235 Ransbach-Baumbach  
Tel.: +49 (0)2623/2209, Fax: /1620  
info@letschert-kg.de, www.letschert-kg.de

**Schamotte: granuliert**



**Adolf Gottfried Tonwerke GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de



**Ernst Letschert KG – Mahlwerk**  
Eisensteinstr. 2, 56235 Ransbach-Baumbach  
Tel.: +49 (0)2623/2209, Fax: /1620  
info@letschert-kg.de, www.letschert-kg.de

**Schamotte: gemahlen (gekörnt)**



**Adolf Gottfried Tonwerke GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de

**Ceske Luptkove Zavody a.s.**  
P.O. Box c.p. 11 71, CZ-27101 Nove Straseci  
Tel.: +420 (0)31357/4084, Fax: /2131  
refracer@refracer.cz, www.cluz.cz



www.goerg-schneider.de

**Goerg & Schneider GmbH u. Co. KG**  
Guterborn 1, 56412 Boden  
info@goerg-schneider.de  
www.goerg-schneider.de



**Ernst Letschert KG – Mahlwerk**  
Eisensteinstr. 2, 56235 Ransbach-Baumbach  
Tel.: +49 (0)2623/2209, Fax: /1620  
info@letschert-kg.de, www.letschert-kg.de



**Arno Witgert, Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.**  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Kaolin-Schamotte**



**Adolf Gottfried Tonwerke GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de

**Ceske Luptkove Zavody a.s.**  
P.O. Box c.p. 11 71, CZ-27101 Nove Straseci  
Tel.: +420 (0)31357/4084, Fax: /2131  
refracer@refracer.cz, www.cluz.cz



www.goerg-schneider.de

**Goerg & Schneider GmbH u. Co. KG**  
Guterborn 1, 56412 Boden  
info@goerg-schneider.de  
www.goerg-schneider.de



**Imerys Tableware Deutschland GmbH**  
Ludwigsmühle 13, 95100 Selb  
Tel.: +49 (0)9287/731312, Fax: /731313  
info@imerys-ceramics.com,  
www.imerys-ceramics.com

**Kaolin: roh**



www.goerg-schneider.de

**Goerg & Schneider GmbH u. Co. KG**  
Guterborn 1, 56412 Boden  
info@goerg-schneider.de  
www.goerg-schneider.de



**Arno Witgert, Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.**  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Kaolin: geschlämmt**

**Kaolin- u. Tonwerke Salzmünde GmbH**  
Ziegelei 13, 06198 Salzmünde  
Tel.: +49 (0)34609/20267, Fax: /20220



**Arno Witgert, Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.**  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Klebsand**

**Kaolin- u. Tonwerke Salzmünde GmbH**  
Ziegelei 13, 06198 Salzmünde  
Tel.: +49 (0)34609/20267, Fax: /20220

**Lassmann GmbH & Co. KG**  
Bahnhofstraße 41, 56422 Wirges  
Postfach 1147, 56418 Wirges  
Tel.: +49 (0)2602/94390, Fax: /943939  
info@tonbergbau.de, www.tonbergbau.de



**THEODOR STEPHAN KG GmbH & Co. KG**  
Liebenschneider Straße 40, 57299 Burbach  
Tel.: +49 (0)2736/509749-0, Fax: /509749-90  
info@stephan-tonbergbau.de,  
www.stephan-tonbergbau.de



**Arno Witgert, Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.**  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Manganverbindungen**



**Grothe Rohstoffe GmbH & Co. KG**  
Kreuzbreite 16, 31675 Bückeburg  
Tel.: +49 (0)5722/95130, Fax: /951360

**Gips: Formengips**



**Saint-Gobain Formula GmbH**  
Kutzhütte, 37445 Walkenried  
Tel.: +49 (0)5525/2030, Fax: /551  
info@saintgobainformula.com,  
www.saintgobainformula.com

**SUMMITREHEIS**

**SRL Dental GmbH**  
Postfach 217251, 67072 Ludwigshafen  
Tel.: +49 (0)621/5709-6991, Fax: /5709-6489  
srl-info@summitresearchlabs.com

**Mullit**

**Imerys Refractory Minerals Glomel**  
43 quai de Grenelle,  
75015 Paris - France  
refractory.minerals@imerys.com,  
www.imerys-refractoryminerals.com

**Pegmatit**



**Gottfried Feldspat GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de



**Imerys Tableware Deutschland GmbH**  
Ludwigsmühle 13, 95100 Selb  
Tel.: +49 (0)9287/731312, Fax: /731313  
info@imerys-ceramics.com,  
www.imerys-ceramics.com

**Gips**



**Saint-Gobain Formula GmbH**  
Kutzhütte, 37445 Walkenried  
Tel.: +49 (0)5525/2030, Fax: /551  
info@saintgobainformula.com,  
www.saintgobainformula.com



**SRL Dental GmbH**  
Postfach 217251, 67072 Ludwigshafen  
Tel.: +49 (0)621/5709-6991, Fax: /5709-6489  
srl-info@summitresearchlabs.com

**Gips: synthetischer Gips**



**SRL Dental GmbH**  
Postfach 217251, 67072 Ludwigshafen  
Tel.: +49 (0)621/5709-6991, Fax: /5709-6489  
srl-info@summitresearchlabs.com

**Siliciumcarbid**



**ESK-SIC GmbH**  
Günter-Wiebecke-Straße 1, 50226 Frechen  
Tel.: +49 (0)2234/5120, Fax: /512100  
info@esk-sic.com, www.esk-sic.com

**Siliciumcarbid: -Typ**



**H.C. Starck Surface Technology and Ceramic Powders GmbH**  
A part of the Höganäs Group  
Im Schleeke 78-91, 38642 Goslar  
advanced-ceramics@hoganas.com  
www.hoganas.com/ceramics

**Siliciumnitrid**



**AlzChem Trostberg GmbH**  
Dr.-Albert-Frank-Straße 32, 83308 Trostberg  
Tel.: +49 (0)8621/86-3022, Fax: /86-503022  
maciej.kuczynski@alzchem.com



**H.C. Starck Surface Technology and Ceramic Powders GmbH**  
A part of the Höganäs Group  
Im Schleeke 78-91, 38642 Goslar  
advanced-ceramics@hoganas.com  
www.hoganas.com/ceramics



**UBE Europe GmbH**  
Immermannstr. 65b, 40210 Düsseldorf  
Tel.: +49(0)211/17883-36, Fax: /17883-45  
s.margraf@ube.com, www.ube.com

**Speckstein**



**Adolf Gottfried Tonwerke GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de



**Imerys Tableware Deutschland GmbH**  
Ludwigsmühle 13, 95100 Selb  
Tel.: +49 (0)9287/731312, Fax: +49  
9287/731313  
info@imerys-ceramics.com,  
www.imerys-ceramics.com

**Speckstein: calciniert**



**Adolf Gottfried Tonwerke GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de

**Kaolin: Metakaolin**

**Ceske Lupkove Zavody a.s.**  
P.O. Box c.p. 11 71, CZ-27101 Nove Straseci  
Tel.: +420 (0)31357/40 84, Fax: /721 31  
refracer@refracer.cz, www.cluz.cz

**Talk**



**Imerys Tableware Deutschland GmbH**  
Ludwigsmühle 13, 95100 Selb  
Tel.: +49 (0)9287/731312, Fax: /731313  
info@imerys-ceramics.com,  
www.imerys-ceramics.com

**Titandiborid**



**H.C. Starck Surface Technology and Ceramic Powders GmbH**  
A part of the Höganäs Group  
Im Schleeke 78-91, 38642 Goslar  
advanced-ceramics@hoganas.com  
www.hoganas.com/ceramics

**Yttriumoxid**



**H.C. Starck Surface Technology and Ceramic Powders GmbH**  
A part of the Höganäs Group  
Im Schleeke 78-91, 38642 Goslar  
advanced-ceramics@hoganas.com  
www.hoganas.com/ceramics



**INNOVNANO**  
iParque, Lote 13, Apartado 7030,  
3040-570 Antanhol  
Tel.: +351/239002850, Fax: /239002869  
info@innovnano-materials.com,  
www.innovnano-materials.com

**Zirkonoxid**



**INNOVNANO**  
iParque, Lote 13, Apartado 7030,  
3040-570 Antanhol  
Tel.: +351/239002850, Fax: /239002869  
info@innovnano-materials.com,  
www.innovnano-materials.com

**Zirkoniumdiborid**



**H.C. Starck Surface Technology and Ceramic Powders GmbH**  
A part of the Höganäs Group  
Im Schleeke 78-91, 38642 Goslar  
advanced-ceramics@hoganas.com  
www.hoganas.com/ceramics

**Zirkonsilicat**



**REIMBOLD & STRICK**  
Handels- und Entwicklungsgesellschaft  
für chemisch-keramische Produkte mbH  
Hansestraße 70, 51149 Köln  
Tel.: +49 (0)2203/89850, Fax: /8985260  
info@reibold-und-strick.de,  
www.reibold-und-strick.de

**Tone: rotbrennend**



**Adolf Gottfried Tonwerke GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de

**Lassmann GmbH & Co. KG**  
Bahnhofstraße 41, 56429 Wirges  
Postfach 1147, 56418 Wirges  
Tel.: +49 (0)2602/94390, Fax: /943939  
info@tonbergbau.de, www.tonbergbau.de

**Waldorff'sche Tongruben & Herz GmbH & Co.**  
56412 Boden  
Tel.: +49 (0)2602/927013, Fax: /80437  
wth-ton@wth-ton.de



**Arno Witgert, Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.**  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Tone: weißbrennend**



**Goerg & Schneider GmbH u. Co. KG**  
Guterborn 1, 56412 Boden  
info@goerg-schneider.de  
www.goerg-schneider.de

**Kaolin- u. Tonwerke Salzmünde GmbH**  
Ziegelei 13, 06198 Salzmünde  
Tel.: +49 (0)34609/20267, Fax: /20220

**Lassmann GmbH & Co. KG**  
Bahnhofstraße 41, 56422 Wirges  
Postfach 1147, 56418 Wirges  
Tel.: +49 (0)2602/94390, Fax: /943939  
info@tonbergbau.de, www.tonbergbau.de

**Waldorff'sche Tongruben & Herz GmbH & Co.**  
56412 Boden  
Tel.: +49 (0)2602/927013, Fax: /80437  
wth-ton@wth-ton.de



**Arno Witgert, Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.**  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Tone: gemahlen**



**Adolf Gottfried Tonwerke GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de



**www.goerg-schneider.de**  
**Goerg & Schneider GmbH u. Co. KG**  
Guterborn 1, 56412 Boden  
info@goerg-schneider.de  
www.goerg-schneider.de

**Kaolin- u. Tonwerke Salzmünde GmbH**  
Ziegelei 13, 06198 Salzmünde  
Tel.: +49 (0)34609/20267, Fax: /20220

**Lassmann GmbH & Co. KG**  
Bahnhofstraße 41, 56422 Wirges  
Postfach 1147, 56418 Wirges  
Tel.: +49 (0)2602/94390, Fax: /943939  
info@tonbergbau.de, www.tonbergbau.de



**THEODOR STEPHAN KG**  
**GmbH & Co. KG**  
Liebenschneider Straße 40, 57299 Burbach  
Tel.: +49 (0)2736/509749-0, Fax: /509749-90  
info@stephan-tonbergbau.de  
www.stephan-tonbergbau.de

**Waldorff'sche Tongruben & Herz GmbH & Co.**  
56412 Boden  
Tel.: +49 (0)2602/927013, Fax: /80437  
wth-ton@wth-ton.de



**Arno Witgert,**  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Massen: allgemein**



**Imerys Tableware Deutschland GmbH**  
Ludwigsmühle 13, 95100 Selb  
Tel.: +49 (0)9287/731312, Fax: /731313  
info@imerys-ceramics.com,  
www.imerys-ceramics.com



**Quarzsandwerke Weissenbrunn**  
Braustraße 19  
96369 Weissenbrunn  
Tel.: +49 (0)9261/628030, Fax: /52224  
info@qsw-weissenbrunn.de,  
www.qsw-weissenbrunn.de



**Arno Witgert,**  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Glasmehl**



**Ernst Letschert KG – Mahlwerk**  
Eisensteinstr. 2, 56235 Ransbach-Baumbach  
Tel.: +49 (0)2623/2209, Fax: /1620  
info@letschert-kg.de, www.letschert-kg.de



**Dennert Poraver GmbH**  
Mozartweg 1, 96132 Schlüsselfeld  
Tel.: +49 (0)9552/92977-0, Fax: /92977-26  
info@poraver.de, www.poraver.de



**Max Schmidt Feldspatwerke „Silbergrube“**  
Silbergrube 1, 92726 Waidhaus  
Tel.: +49 (0)9652/230, Fax: /1532  
info@schmidt-waidhaus.de  
www.schmidt-waidhaus.de

**Massen: Steingutmassen**



**www.goerg-schneider.de**  
**Goerg & Schneider GmbH u. Co. KG**  
Guterborn 1, 56412 Boden  
info@goerg-schneider.de  
www.goerg-schneider.de



**Arno Witgert,**  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Massen: keramische Massen**



**Adolf Gottfried Tonwerke GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de



**Imerys Tableware Deutschland GmbH**  
Ludwigsmühle 13, 95100 Selb  
Tel.: +49 (0)9287/731312, Fax: /731313  
info@imerys-ceramics.com,  
www.imerys-ceramics.com



**Nabaltec AG**  
Postfach 1860, 92409 Schwandorf  
Tel.: +49 (0)9431/53-234, Fax: /61557  
sales@nabaltec.de, www.nabaltec.de



**Quarzsandwerke Weissenbrunn**  
Braustraße 19, 96369 Weissenbrunn  
Tel.: +49 (0)9261/628030, Fax: /52224  
info@qsw-weissenbrunn.de,  
www.qsw-weissenbrunn.de



**Arno Witgert,**  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Massen: Schamotte**



**www.goerg-schneider.de**

**Goerg & Schneider GmbH u. Co. KG**  
Guterborn 1, 56412 Boden  
info@goerg-schneider.de  
www.goerg-schneider.de

**Massen: Steinzeugmassen**



**www.goerg-schneider.de**

**Goerg & Schneider GmbH u. Co. KG**  
Guterborn 1, 56412 Boden  
info@goerg-schneider.de  
www.goerg-schneider.de



**Arno Witgert,**  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Massen: Ofenkachelmassen**



**Adolf Gottfried Tonwerke GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de



**www.goerg-schneider.de**

**Goerg & Schneider GmbH u. Co. KG**  
Guterborn 1, 56412 Boden  
info@goerg-schneider.de  
www.goerg-schneider.de



**Arno Witgert,**  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Bindemittel: Thermoplastische Spritzgussbinder**



**Zschimmer & Schwarz GmbH & Co KG**  
Chemische Fabriken  
Max-Schwarz-Straße 3-5, 56112 Lahnstein  
Tel.: +49 (0)2621/12-485, Fax: /12-403  
keramik@zschimmer-schwarz.com,  
www.zschimmer-schwarz.com

**Mullit: Sintermullit**



**Nabaltec AG**  
Postfach 1860, 92409 Schwandorf  
Tel.: +49 (0)9431/53-234, Fax: /61557  
sales@nabaltec.de, www.nabaltec.de

**Zirkonoxid: teilstabilisiert**



**INNOVNANO**  
iParque, Lote 13, Apartado 7030,  
3040-570 Antanhol  
Tel.: +351/239002850, Fax: /239002869  
info@innovnano-materials.com,  
www.innovnano-materials.com

**Kaolin: gemahlen**



**THEODOR STEPHAN KG**  
**GmbH & Co. KG**  
Liebenschneider Straße 40, 57299 Burbach  
Tel.: +49 (0)2736/509749-0, Fax: /509749-90  
info@stephan-tonbergbau.de,  
www.stephan-tonbergbau.de



**Arno Witger,**  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

**Kunststoffe: porös**



**SRL Dental GmbH**  
Postfach 217251, 67072 Ludwigshafen  
Tel.: +49 (0)621/5709-6991, Fax: /5709-6489  
srl-info@summitresearchlabs.com

**Bindemittel: chemisch**



**Chemische Fabrik Budenheim KG**  
Rheinstraße 27, 55253 Budenheim  
Tel.: +49 (0)6139/890, Fax: /89264  
info@budenheim.com  
www.budenheim.com



**Zschimmer & Schwarz GmbH & Co KG**  
Chemische Fabriken  
Max-Schwarz-Straße 3-5, 56112 Lahnstein  
Tel.: +49 (0)2621/12-485, Fax: /12-403  
keramik@zschimmer-schwarz.com,  
www.zschimmer-schwarz.com

**Zirkonoxidpulver, hochrein**



**INNOVNANO**  
iParque, Lote 13, Apartado 7030,  
3040-570 Antanhol  
Tel.: +351/239002850, Fax: /239002869  
info@innovnano-materials.com,  
www.innovnano-materials.com

**Füllstoffe: allgemein**



**THEODOR STEPHAN KG**  
**GmbH & Co. KG**  
Liebenschneider Straße 40, 57299 Burbach  
Tel.: +49 (0)2736/509749-0, Fax: /509749-90  
info@stephan-tonbergbau.de,  
www.stephan-tonbergbau.de

**Bor: amorphes**



**H.C. Starck Surface Technology and Ceramic Powders GmbH**  
A part of the Höganäs Group  
Im Schleeke 78-91, 38642 Goslar  
advanced-ceramics@hoganas.com  
www.hoganas.com/ceramics

**Bor: kristallines**



**H.C. Starck Surface Technology and Ceramic Powders GmbH**  
A part of the Höganäs Group  
Im Schleeke 78-91, 38642 Goslar  
advanced-ceramics@hoganas.com  
www.hoganas.com/ceramics

**Titancarbid**



**H.C. Starck Surface Technology and Ceramic Powders GmbH**  
A part of the Höganäs Group  
Im Schleeke 78-91, 38642 Goslar  
advanced-ceramics@hoganas.com  
www.hoganas.com/ceramics

**Zirkoncarbide**



**H.C. Starck Surface Technology and Ceramic Powders GmbH**  
A part of the Höganäs Group  
Im Schleeke 78-91, 38642 Goslar  
advanced-ceramics@hoganas.com  
www.hoganas.com/ceramics

**Titannitrid**



**H.C. Starck Surface Technology and Ceramic Powders GmbH**  
A part of the Höganäs Group  
Im Schleeke 78-91, 38642 Goslar  
advanced-ceramics@hoganas.com  
www.hoganas.com/ceramics

**Titancarbonsitrid**



**H.C. Starck Surface Technology and Ceramic Powders GmbH**  
A part of the Höganäs Group  
Im Schleeke 78-91, 38642 Goslar  
advanced-ceramics@hoganas.com  
www.hoganas.com/ceramics

**Kaolin: feldspathaltig**

**Kaolin- u. Tonwerke Salzmünde GmbH**  
Ziegelei 13, 06198 Salzmünde  
Tel.: +49 (0)34609/20267, Fax: +/20220

**Molybdänsilicid**



**H.C. Starck Surface Technology and Ceramic Powders GmbH**  
A part of the Höganäs Group  
Im Schleeke 78-91, 38642 Goslar  
advanced-ceramics@hoganas.com  
www.hoganas.com/ceramics

**Kaolin: roh, weißbrennend**

**Kaolin- u. Tonwerke Salzmünde GmbH**  
Ziegelei 13, 06198 Salzmünde  
Tel.: +49 (0)34609/20267, Fax: /20220



**THEODOR STEPHAN KG**  
**GmbH & Co. KG**  
Liebenschneider Straße 40, 57299 Burbach  
Tel.: +49 (0)2736/509749-0, Fax: /509749-90  
info@stephan-tonbergbau.de,  
www.stephan-tonbergbau.de

**Feldspatsande: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- und K<sub>2</sub>O-reich**



**Gottfried Feldspat GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de

**Feldspat: Keramiksande**



**Gottfried Feldspat GmbH**  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de

**Borcarbide: feinpulvrig**



**H.C. Starck Surface Technology and Ceramic Powders GmbH**  
A part of the Höganäs Group  
Im Schleeke 78-91, 38642 Goslar  
advanced-ceramics@hoganas.com  
www.hoganas.com/ceramics

**Siliciumcarbide: feinpulvrig**



**H.C. Starck Surface Technology and Ceramic Powders GmbH**  
A part of the Höganäs Group  
Im Schleeke 78-91, 38642 Goslar  
advanced-ceramics@hoganas.com  
www.hoganas.com/ceramics

**Bindemittel: temporär**



**Zschimmer & Schwarz GmbH & Co KG**  
Chemische Fabriken  
Max-Schwarz-Straße 3-5, 56112 Lahnstein  
Tel.: +49 (0)2621/12-485, Fax: /12-403  
keramik@zschimmer-schwarz.com,  
www.zschimmer-schwarz.com

**Additive: Druckgießhilfsmittel**



**Zschimmer & Schwarz GmbH & Co KG  
Chemische Fabriken**  
Max-Schwarz-Straße 3-5, 56112 Lahnstein  
Tel.: +49 (0)2621/12-485, Fax: /12-403  
keramik@zschimmer-schwarz.com,  
www.zschimmer-schwarz.com

**Additive: Netzmittel**



**Zschimmer & Schwarz GmbH & Co KG  
Chemische Fabriken**  
Max-Schwarz-Straße 3-5, 56112 Lahnstein  
Tel.: +49 (0)2621/12-485, Fax: /12-403  
keramik@zschimmer-schwarz.com,  
www.zschimmer-schwarz.com

**Additive: Plastifizierungsmittel**



**Zschimmer & Schwarz GmbH & Co KG  
Chemische Fabriken**  
Max-Schwarz-Straße 3-5, 56112 Lahnstein  
Tel.: +49 (0)2621/12-485, Fax: /12-403  
keramik@zschimmer-schwarz.com,  
www.zschimmer-schwarz.com

**Additive: Press- und Stanzöle**



**Zschimmer & Schwarz GmbH & Co KG  
Chemische Fabriken**  
Max-Schwarz-Straße 3-5, 56112 Lahnstein  
Tel.: +49 (0)2621/12-485, Fax: /12-403  
keramik@zschimmer-schwarz.com,  
www.zschimmer-schwarz.com

**Additive: Verflüssigungs- und  
Dispergiermittel**



**Almatis GmbH**  
Lyoner Straße 9, 60528 Frankfurt a. M.  
Tel.: +49 (0)69/9573410, Fax: /95734113  
www.almatis.com



**Zschimmer & Schwarz GmbH & Co KG  
Chemische Fabriken**  
Max-Schwarz-Straße 3-5, 56112 Lahnstein  
Tel.: +49 (0)2621/12-485, Fax: /12-403  
keramik@zschimmer-schwarz.com,  
www.zschimmer-schwarz.com

**Geopolymer**

**Ceske Luptkove Zavody a.s.**  
P.O. Box c.p. 11 71, CZ-27101 Nove Straseci  
Tel.: +420 (0)31357/4084, Fax: /2131  
refracer@refracer.cz, www.cluz.cz

**Kreide**



**Vereinigte Kreidewerke Dammann  
GmbH & Co. KG**  
Hildesheimer Straße 3, 31185 Söhlde  
Tel.: +49 (0)5129/78214  
dseemann@dammann.de,  
www.dammann.de

**10 Technische Keramik –  
Halbzeuge –  
Fertigteile**

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Produkte**



**Kläger Spritzguss GmbH & Co. KG**  
Hochgerichtstr. 33, 72280 Dornstetten  
Tel.: +49 (0)7443/9633-18, Fax: /9633-88  
info@klaeger.de, www.klaeger.de

**Keramische Bauteile**



**Kläger Spritzguss GmbH & Co. KG**  
Hochgerichtstr. 33, 72280 Dornstetten  
Tel.: +49 (0)7443/9633-18, Fax: /9633-88  
info@klaeger.de, www.klaeger.de

**Klebstoffe**

**KERAGUSS®**

**KERAGUSS Technische Keramik**  
Nichtbrennbare Klebstoffe  
Baustoffklasse A1 in Kartuschen,  
Dosen und Eimern  
Martin-Niemöller-Str. 33  
72829 Engstingen  
Tel.: +49 7129-141836  
kontakt@keraguss.de  
www.keraguss.de

**Oxidkeramik**



**INNOVNANO**  
iParque, Lote 13, Apartado 7030,  
3040-570 Antanhol  
Tel.: +351/239002850, Fax: /239002869  
info@innovnano-materials.com,  
www.innovnano-materials.com

**Präzisions-spritzgussteile**



**Kläger Spritzguss GmbH & Co. KG**  
Hochgerichtstr. 33, 72280 Dornstetten  
Tel.: +49 (0)7443/9633-18, Fax: /9633-88  
info@klaeger.de, www.klaeger.de



**SPT Roth Ltd**  
Werkstraße 28, 3250 Lyss  
Tel.: +41 (0)32/3878080, Fax: /3878088  
info@spt.net, www.spt.net

**Verbundwerkstoffe:  
Keramik-Metall**



**INNOVNANO**  
iParque, Lote 13, Apartado 7030,  
3040-570 Antanhol  
Tel.: +351/239002850, Fax: /239002869  
info@innovnano-materials.com,  
www.innovnano-materials.com

**11 Transportieren –  
Fördern – Verpacken  
– Lagern**

**Förderer: Kettenförderer**



**SKM Witte-Löhmer GmbH**  
SKM Witte Löhmer GmbH  
An der Knorr Bremse 3, 58300 Wetter (Ruhr)  
Tel.: +49 (0)2335/8448890, Fax: /8448891  
skm@spezialketten.de, www.spezialketten.de

**Förderer:  
Stahlschuppentransporteur**



**SKM Witte Löhmer GmbH**  
An der Knorr Bremse 3, 58300 Wetter (Ruhr)  
Tel.: +49 (0)2335/8448890, Fax: /8448891  
skm@spezialketten.de, www.spezialketten.de

**Entladeanlagen: automatisch**



**A. Hässler Anlagenbau GmbH**  
Jahnstraße 45, 89155 Erbach  
Tel.: +49 (0)7305/8060, Fax: /22382  
haessler-anlagenbau@t-online.de

**Ofenwagentransportsysteme**



**A. Hässler Anlagenbau GmbH**  
Jahnstraße 45, 89155 Erbach  
Tel.: +49 (0)7305/8060, Fax: /22382  
haessler-anlagenbau@t-online.de

**Setzanlagen**



**A. Hässler Anlagenbau GmbH**  
Jahnstraße 45, 89155 Erbach  
Tel.: +49 (0)7305/8060, Fax: /22382  
haessler-anlagenbau@t-online.de

**12 Trocknen**

**13 Verbrauchs-  
materialien**

**Mahlkugeln**



**Sigmund Lindner GmbH**  
Oberwarmensteinacher Straße 38,  
95485 Warmensteinach  
Tel.: +49 (0)9277/99410, Fax: /99499  
sili@sigmunlindner.com,  
www.sigmunlindner.com

**Schwämme: Kunstschwämme**

**Zervos GmbH & Co. KG**  
86911 Diessen/Ammersee  
Tel.: +49 (0)8807/1704, Fax: /5054  
info@zervos-sponges.com  
www.zervos-sponges.com

Temperaturmessringe,  
keramische



M.E. SCHUPP  
Industrikeramik GmbH  
Neuhausstraße 4 -10, 52078 Aachen  
Tel.: +49 (0)241/93677-0, Fax: /93677-15  
info@schupp-ceramics.com,  
www.schupp-ceramics.com

14 Umweltschutz –  
Arbeitsschutz

Entstaubungsanlagen



Hellmich GmbH & Co. KG  
Holtkampweg 13, 32278 Kirchlingern  
Tel.: +49 (0)5223/75770, Fax: /75730  
info@hellmich.com, www.hellmich.com

Fluorabscheideanlagen



Hellmich GmbH & Co. KG  
Holtkampweg 13, 32278 Kirchlingern  
Tel.: +49 (0)5223/75770, Fax: /75730  
info@hellmich.com, www.hellmich.com

Thermische und katalytische  
Nachverbrennungsanlagen



A. Hässler Anlagenbau GmbH  
Jahnstraße 45, 89155 Erbach  
Tel.: +49 (0)7305/8060, Fax: /22382  
haessler-anlagenbau@t-online.de



Tridelta Thermprozess GmbH  
Marie-Curie-Straße 14, 07629 Hermsdorf  
Tel.: +49 (0)36601/9389-0, Fax: /9389-99  
info@tridelta-thermprozess.de,  
www.tridelta-thermprozess.de

Abgasreinigungsanlagen



Hellmich GmbH & Co. KG  
Holtkampweg 13, 32278 Kirchlingern  
Tel.: +49 (0)5223/75770, Fax: /75730  
info@hellmich.com, www.hellmich.com

Staubsauger: stationär



Hellmich GmbH & Co. KG  
Holtkampweg 13, 32278 Kirchlingern  
Tel.: +49 (0)5223/75770, Fax: /75730  
info@hellmich.com, www.hellmich.com

15 Diverses

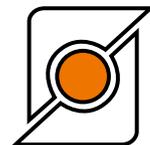
Wärmetauscher



Hellmich GmbH & Co. KG  
Holtkampweg 13, 32278 Kirchlingern  
Tel.: +49 (0)5223/75770, Fax: /75730  
info@hellmich.com, www.hellmich.com

17 Service – Lohn-  
arbeiten – Gebraucht-  
maschinen-Beratung

Beratungen/Gutachten



Sachverständigenbüro  
Gernandt – Osterkamp – Stengert  
Sachverständige für Maschinen,  
Anlagen und Produkte der  
Keramikindustrie  
Kleinenbremer Straße 16,  
32457 Porta Westfalica  
Tel.: +49 (0)5722/91290-0, Fax: /91290-99  
info@experts-gos.de

Laborarbeiten



KI Keramik-Institut GmbH  
Ossietzkystraße 37 a, 01662 Meißen  
Tel.: +49(0)3521/463-515, Fax: /463516  
info@keramikinstitut.de  
www.keramikinstitut.de

ESA Eidam & Seiferling Analytik GmbH  
Heinrich-Hertz-Straße 10, 07629 Hermsdorf  
Tel.: +49 (0)36601/903500, Fax: /903501  
info@esahermsdorf.de,  
www.esahermsdorf.de

Lohnarbeiten



KI Keramik-Institut GmbH  
Ossietzkystraße 37 a, 01662 Meißen  
Tel.: +49(0)3521/463-515, Fax: /463516  
info@keramikinstitut.de  
www.keramikinstitut.de



Anno Witger,  
Inh. Dipl.-Ing. (FH) Michael Liebig e. K.  
56414 Herschbach/Oww.  
Tel.: +49 (0)6435/92230, Fax: /922333

Lohnmahlung



www.goerg-schneider.de  
Goerg & Schneider GmbH u. Co. KG  
Guterborn 1, 56412 Boden  
info@goerg-schneider.de  
www.goerg-schneider.de

Forschung und  
Entwicklungsservice



KI Keramik-Institut GmbH  
Ossietzkystraße 37 a, 01662 Meißen  
Tel.: +49(0)3521/463-515, Fax: /463516  
info@keramikinstitut.de,  
www.keramikinstitut.de

Gebrauchte Maschinen



ABIS GmbH  
Falkenstraße 1, 90596 Schwanstetten  
Tel.: +49 (0)9170/97835, Fax: /97834  
info@abis-gmbh.com, www.abis.info

HEUTZ-HOMBURG AG  
An der Follmühle 2-4, BE-4730 Hauset  
Tel.: +32 87/659271 + 659140, Fax: /653092  
info@heutz-homburg.com,  
www.heutz-homburg.be

Rumke Keramikmaschinen,  
Engineering & Handel GmbH  
Bleikaule 5, 59929 Biron  
Tel.: +49 (0)2961/4000, Fax: /12 28  
Rumke-GmbH@t-online.de

Sprühtrocknung



KI Keramik-Institut GmbH  
Ossietzkystraße 37 a, 01662 Meißen  
Tel.: +49(0)3521/463-515, Fax: /463516  
info@keramikinstitut.de,  
www.keramikinstitut.de

Lohnmahlung



Adolf Gottfried Tonwerke GmbH  
Tonwerkstraße 3, 96269 Großheirath  
Tel.: +49 (0)9565/7970, Fax: /79735  
info@gottfried.de, www.gottfried.de



Ernst Letschert KG – Mahlwerk  
Eisensteinstr. 2, 56235 Ransbach-Baumbach  
Tel.: +49 (0)2623/2209, Fax: /1620  
info@letschert-kg.de, www.letschert-kg.de



Helmut Kreutz Mahlwerke GmbH  
Helmut-Kreutz-Straße, 35708 Haiger  
Tel.: +49 (0)2773/9441-0, Fax: /9441-60  
info@kreutz-mahlwerke.de,  
www.kreutz-mahlwerke.de



THEODOR STEPHAN KG  
GmbH & Co. KG  
Liebenschneider Straße 40, 57299 Burbach  
Tel.: +49 (0)2736/509749-0, Fax: /509749-90  
info@stephan-tonbergbau.de,  
www.stephan-tonbergbau.de

Laborarbeiten

ESA Eidam & Seiferling Analytik GmbH  
Heinrich-Hertz-Straße 10, 07629 Hermsdorf  
Tel.: +49 (0)36601/903500, Fax: /903501  
info@esahermsdorf.de,  
www.esahermsdorf.de



KI Keramik-Institut GmbH  
Ossietzkystraße 37 a, 01662 Meißen  
Tel.: +49(0)3521/463-515, Fax: /463516  
info@keramikinstitut.de,  
www.keramikinstitut.de

Lohnmischungen:  
trocken/pastös/flüssig



LOOP GmbH  
Am Nordturm 5, 46562 Voerde  
Phone: +49 (0)281/83135, Fax: /83137  
mail@loop-gmbh.de

Ofen-/Trockneraktivierung



KI Keramik-Institut GmbH  
Ossietzkystraße 37 a, 01662 Meißen  
Tel.: +49(0)3521/463-515, Fax: /463516  
info@keramikinstitut.de,  
www.keramikinstitut.de



# Keramik der Zukunft.

Das ganze **Fachwissen** der Keramiktechnologie, in allen anwendungsrelevanten Bereichen auf technisch-wissenschaftlichem Niveau mit den neuesten signifikanten Trends und Entwicklungen. Informieren Sie sich fünf Mal im Jahr mit der exklusiven Kombination aus **Printausgabe** und **interaktivem E-Magazin** sowie der **einzigartigen Wissensdatenbank des Online-Archivs mit pdf-Download**.

[www.meinfachwissen.de/keramischezeitschrift](http://www.meinfachwissen.de/keramischezeitschrift)

**JETZT  
KOSTENLOS  
TESTEN!**

**SAVE THE DATE!**

**EPS | FACHTAGUNG ELEKTROSTATISCHES PULVERBESCHICHTEN**  
5. UND 6. NOVEMBER 2019 | MÜNCHEN

**INDUSTRIELACKIERUNG | FACHTAGUNG INDUSTRIELLES NASSLACKIEREN**  
19. UND 20. NOVEMBER 2019 | STUTTGART

## **IHR KNOW-HOW-GEWINN** ✓

Hochqualifizierte Referenten in Vorträgen und Diskussionsrunden

## **IHR NETZWERK** ✓

Interessante Gespräche und neue Kontakte abseits des Tagesgeschäftes

## **IHRE FACHINFORMATION** ✓

Begleitende Ausstellung innovativer Produkte und Dienstleistungen