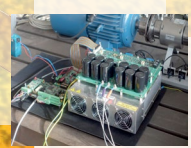
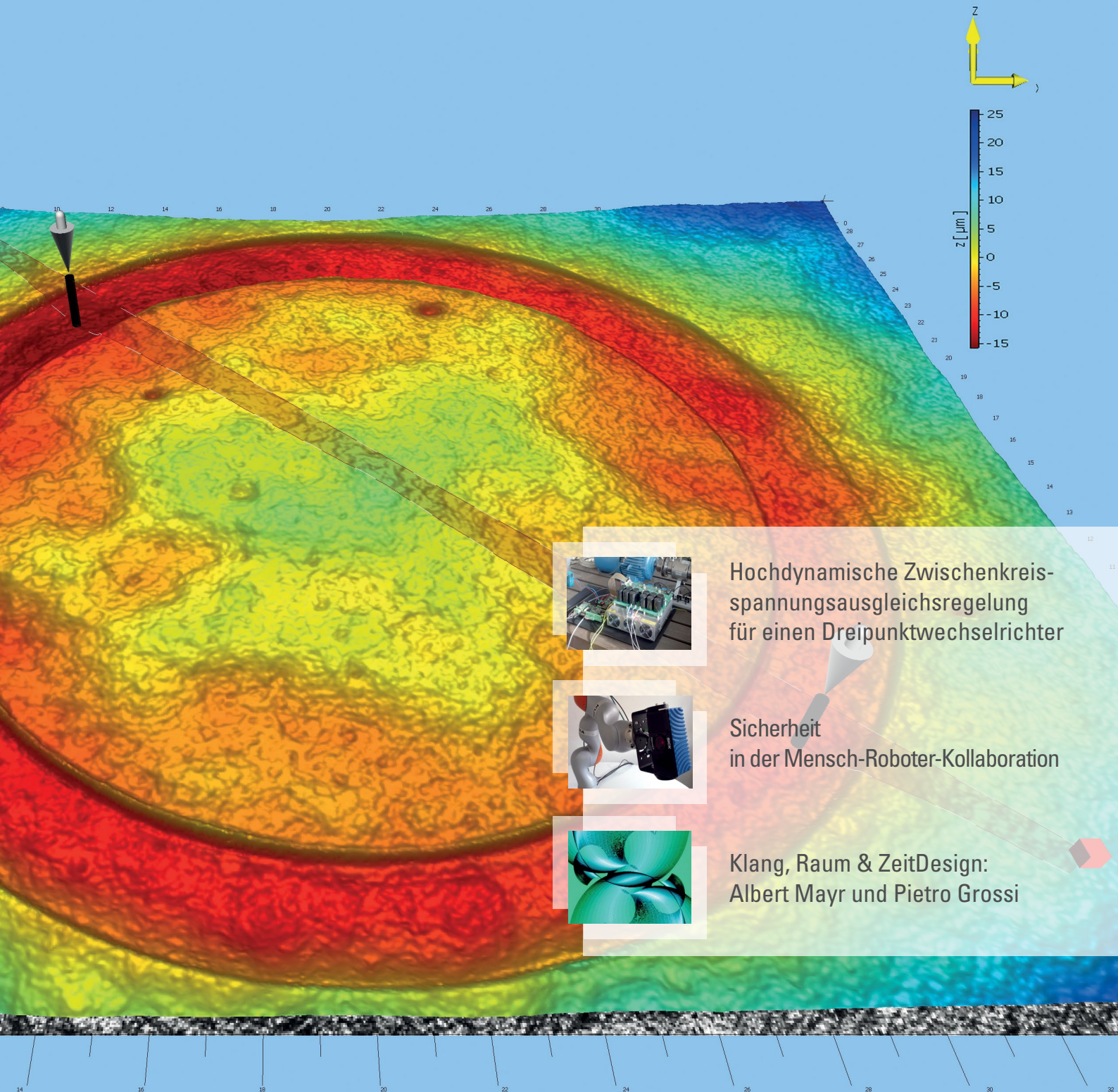


# forschung im fokus

Ausgabe Nr. 21 / 2018



Hochdynamische Zwischenkreis-  
spannungsausgleichsregelung  
für einen Dreipunktwechselrichter



Sicherheit  
in der Mensch-Roboter-Kollaboration



Klang, Raum & ZeitDesign:  
Albert Mayr und Pietro Grossi

# ***NaSiO – INSTITUT FÜR NACHHALTIGE SILIKATFORSCHUNG OFFENBURG***

*Das Institut NaSiO setzt sich zum Ziel, Silikatwerkstoffe als Baumaterialien aus Wüstensand mit neuen Eigenschaften, die kompatibel mit einer nachhaltigen Energietechnik sind, zu entwickeln.*

Am einfachsten beschreibt man Silikatwerkstoffe als polymeren Sand. Der Schlüssel zur vermehrten industriellen Nutzung von (Wüsten-)Sand ist die Geopolymerstruktur. Diese wird aus Wasserglas gebildet, das schon heute kostengünstig aus Sand, Soda und Sonnenenergie (SSS-Ansatz) hergestellt werden kann.

Der Schwerpunkt der Institutsarbeit liegt auf der Erforschung der chemischen Bindungen, die eine Geopolymerstruktur ausmachen. Hierzu werden als analytische Messmethoden die IR-Spektroskopie sowie in Zusammenarbeit mit mehreren universitären Instituten  $^{27}\text{Al}$ -MAS NMR-,  $^{29}\text{Si}$ -MAS NMR-

und  $^{31}\text{P}$ -NMR-spektroskopische Messungen an Festkörpern eingesetzt. Auch wird an der verfahrenstechnischen Optimierung aller Prozesse geforscht, die der Bildung geopolymerer Strukturen zugrunde liegen.

Konkret wird an der Herstellung neuartiger anorganischer Dämmstoffe mit einer Dichte von unter  $0,09 \text{ g/cm}^3$ , an der Entwicklung von Dämmstoffen im Bereich bis  $1.100 \text{ }^\circ\text{C}$ , an der Entwicklung eines Ziegeleratzes aus Wüstensand oder Betonabfällen sowie an der Verkieselung von Holz gearbeitet. Bei allen Forschungs- und Entwicklungsthemen stehen Ressourcenschonung, Umweltverträglichkeit und Langlebigkeit der Produkte im Mittelpunkt.

*Institutsleitung  
Prof. Dr. rer. nat. Bernd Spangenberg*



# Schaumsand zur Wärmedämmung bei hohen Temperaturen

Prof. Dr. rer. nat. Bernd Spangenberg

Schaumsand wird aus Wasserglas hergestellt und zeigt als Dämmmaterial einige Vorteile. Am Institut für nachhaltige Silikatforschung in Offenburg (INaSiO) wird er als ein hervorragender Dämmstoff für den Temperaturbereich bis 950 °C untersucht. Am besten dämmt Schaumsand mit den kleinsten Poren. Er kollabiert bei thermischer Belastung allerdings auch am schnellsten. Schaumsteine mittlerer Porengröße, ein Kompromiss zwischen Wärmeleitfähigkeit und Stabilität, schützen im Brandfall am längsten.

*Foam sand is made of water glass and shows some advantages as insulating material. At the Institute for Sustainable Silicate Research in Offenburg (INaSiO), it is being investigated as an excellent insulating material for a temperature range up to 950 °C. Foam sand with the smallest pores is best insulating, but collapses fastest under thermal stress. Foam sand with medium pores, a compromise between thermal conductivity and stability, provides the long-lasting protection in the case of fire.*

## Problemstellung

Häuser mit gedämmten Fassaden aus Styropor können im Brandfall zu tödlichen Fallen werden. Was Styropor bei einem Brand so gefährlich macht, ist seine besondere Reaktion. Wenn eine Styropordämmung brennt, schmilzt und tropft es von der Fassade und bildet eine undurchdringliche Barriere aus flüssigem heißem Material. Würde man zur Dämmung statt Styropor nichtbrennbare Dämmplatten aus Mineralwolle oder Schaumsand verwenden, hätte man dieses Problem nicht. Mineralwolle besteht aus Fasern von geschmolzenem Altglas, Kalkstein, Basalt oder Dolomit, während Schaumsand aus reinem Siliziumdioxid (SiO<sub>2</sub>) hergestellt ist. Beide Stoffe brennen nicht. Warum beide Materialien dennoch kaum als Dämmstoff verwendet werden, hat einen simplen Grund: Sie sind teurer als Styropor.

Schaumsand wird aus Wasserglas (und festem SiO<sub>2</sub>) hergestellt und zeigt als Dämmmaterial gegenüber Mineralwolle einige Vorteile. Seine Energiebilanz ist besser, und er kann passgenau für die verschiedensten Anwendungen hergestellt werden. Dämmstoffe werden nicht nur in einer Fassadendämmung verbaut. Auch Fluchtwege wie Treppenhäuser oder Versorgungsleitungen für Strom, Wasser (bei Sprinkleranlagen) oder natürlich Gas müssen thermisch isoliert sein, damit sie im Brandfall ihren Dienst erfüllen oder, wie bei Gasleitungen, die Sache nicht noch schlimmer machen. An solche Isolationsmaterialien wer-

den andere Anforderungen als an Fassadendämmungen gestellt. Am Institut für nachhaltige Silikatforschung in Offenburg (INaSiO) sieht man hier ein weites Betätigungsfeld. Ein Ziel des Instituts ist die Entwicklung anorganischer Schaumstoffe für den Einsatz im Bereich von Wärmedämmungen, Schall- und Brandschutz. Bei allen Forschungsthemen des Instituts stehen Ressourcenschonung und Umweltverträglichkeit im Mittelpunkt.

## Der Rohstoff

Wasserglas wird aus Sand und Soda bzw. Pottasche oder aus Natrium- und Kaliumhydroxid hergestellt. Die benötigte Energie zur Bildung von Wasserglas kommt heute aus dem Erdöl. Denkbar ist aber auch die direkte Verwendung von Solarenergie. Eine zukünftige Wasserglasproduktion könnte in der Nähe von Salzseen, direkt in Wüstengebieten mit Wüstensand und viel Sonnenlicht, stattfinden. Solche terrestrisch-aride Sodalagerstätten finden sich auf allen Kontinenten. Der bekannteste Soda-see ist der Lake Natron in Tansania, aber auch in Nordamerika, Asien und Südosteuropa findet man diesen Gewässertyp, u. a. in Ägypten, Äthiopien (Shala), Bolivien (San Juan), Kanada, Mongolei (Ost-Gobi), Ungarn, Russland, Schweiz, Großbritannien, Italien und den USA [1]. Wasserglas ist eine wasserhelle Flüssigkeit, die in Tankschiffen, ähnlich dem Erdöl, aus Wüsten zum Einsatzort transportiert werden könnte.

Neben Soda bzw. Kalium- oder Natriumhydroxid wird Sand sowohl zur Herstellung von Wasserglas wie auch als preiswerter Füllstoff gebraucht. Dabei ist der bekannte Satz aus der Bibel „Wie Sand am Meer“ heute nicht mehr gültig, denn schier unerschöpfliche Sandvorkommen am oder im Meer gehören längst der Vergangenheit an [2–7].

Sand gibt es nicht nur am und im Meer, sondern vor allem in Sandwüsten, die etwa 20 % der weltweiten Wüstenflächen ausmachen [2]. Hier ist Sand noch im Überfluss vorhanden, und das wird auch für lange Zeit so bleiben. Trotz der riesigen Sandvorkommen in Wüstengebieten wird der Rohstoff Quarzsand in den Industrieländern knapp. Hier wird Flusssand gebraucht, da Wüstensand für den Einsatz im Bausektor weitgehend ungeeignet ist. Seine vom Wind abgeschliffenen runden Körner haften nicht aneinander und können für Beton nicht verwendet werden [2]. Für die Anwendung in Beton ist neben einer länglichen Körnung auch Chlorid- und Alkalifreiheit von Bedeutung. Im Gegensatz dazu stören Chlorid- oder Alkaliionen bei der Herstellung von Wasserglas nicht, ebenso wenig wie bei der Verwendung als Füllstoff in Geopolymerstrukturen, da hier immer in stark alkalischem Medium gearbeitet wird.

### Die Reaktion zur Bildung von Steinen aus Wasserglas

Wasserglas ermöglicht die Bildung polymerer Strukturen aus wässriger Lösung oder Suspension in einem Temperaturbereich zwischen 10 und 200 °C. Dem Vorgang liegt die Rückreaktion der Wasserglasbildung zugrunde. Wasserglas wird heute fast ausschließlich durch Kohlendioxid verfestigt. Statt Kohlendioxid können aber auch Kohlensäure-Ester verwendet werden. Im Institut NaSiO werden meistens Propylencarbonat und Glycerincarbonat als Härter benutzt. Bei Raumtemperatur reagiert Propylencarbonat innerhalb von ca. fünf Minuten ab, Glycerincarbonat ist da sogar noch etwas schneller. Es können unter umweltfreundlichen und ökologischen Bedingungen Steingießprodukte, Stein- bzw. Sandschäume, Oberflächenpolymere sowie Durchträngungspolymere hergestellt werden. Insbesondere lassen die niedrigen Temperaturen des Härtevorgangs im Vergleich zu herkömmlichen Brenntechniken große CO<sub>2</sub>-Einsparungen erwarten. Ein Vorteil der Reaktion ist die Möglichkeit, Steinschäume bei Raumtemperatur zu bilden. Hierbei wird

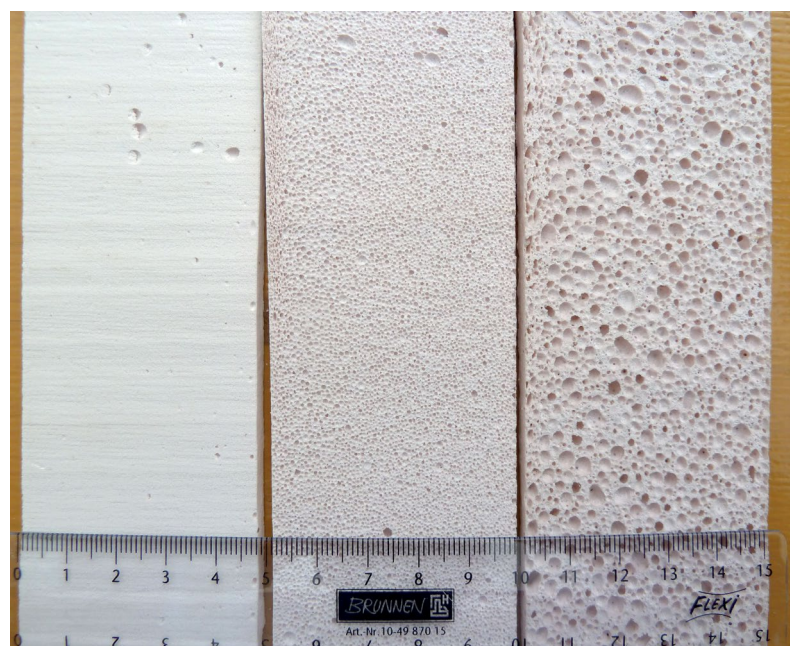
dem Wasserglas neben dem Härter noch Wasserstoffperoxid und anorganische Zuschlagstoffe beigemischt. Die Zuschläge dienen zur Festlegung der Viskosität, denn so kann die Porengröße zielgerecht eingestellt werden. In der Mischung wird Wasserstoffperoxid katalytisch zersetzt, und der so gebildete Sauerstoff schäumt die Mischung auf. Beide Reaktionen, die Sauerstoffbildung und die Wasserglashärtung, müssen aufeinander abgestimmt sein, damit der Schaum sein volles Volumen erlangt und dann verfestigt, ohne zusammenzufallen.

### Die Herstellung feuerfester Dämmstoffe

Wasserglas wird bei Raumtemperatur mit verschiedenen Zuschlägen zu einer Suspension definierter Viskosität gemischt. Unter Rühren gibt man eine Lösung aus Wasserstoffperoxid in Propylencarbonat zu. Die Mischung wird 30 Sekunden gerührt und dann in eine Form gegossen. Ähnlich Polyurethanen schäumt die wässrige Mischung auf und entwickelt in einer abgeschlossenen Form Drücke bis zu 10 bar. Nach 60 Minuten kann der Schaumstein der Form entnommen werden, bei Raumtemperatur ist er nach einer Woche trocken. Seine Dichte beträgt etwa 0.3 g/cm<sup>3</sup>.

Die Porendurchmesser solcher Schaumsteine können in einem Bereich von 50 µm bis etwa 2500 µm frei eingestellt werden (Abb. 1). Die Porenverteilung im Schaumkörper ist sehr eng, wie Abb. 2, ein vergrößerter Ausschnitt aus Abb. 1, zeigt.

Abb. 1: Schnittflächen durch drei Schaum-Probekörper. Die Porendurchmesser liegen bei dem Schaumstein BH59 (links) um 50 µm, beim Schaumstein BH56 (mittig) bei 500 µm und bei der Schaumstein BH60 (rechts) zwischen 1000 µm und 2500 µm



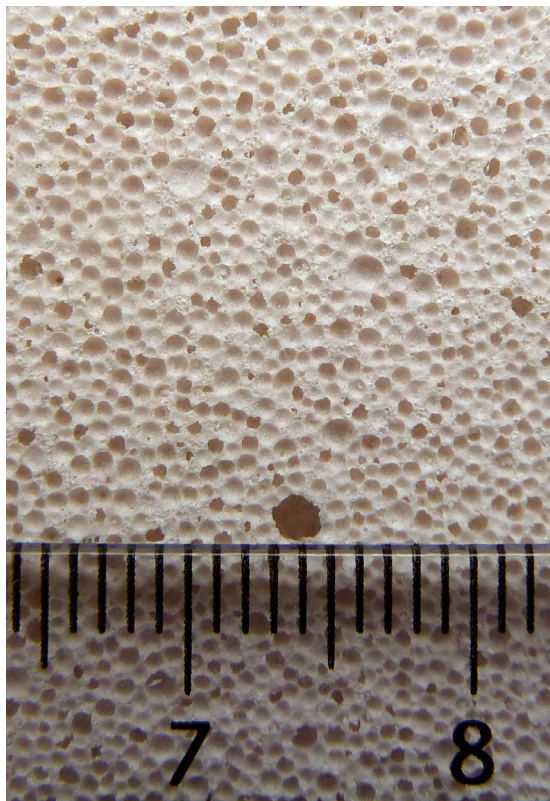
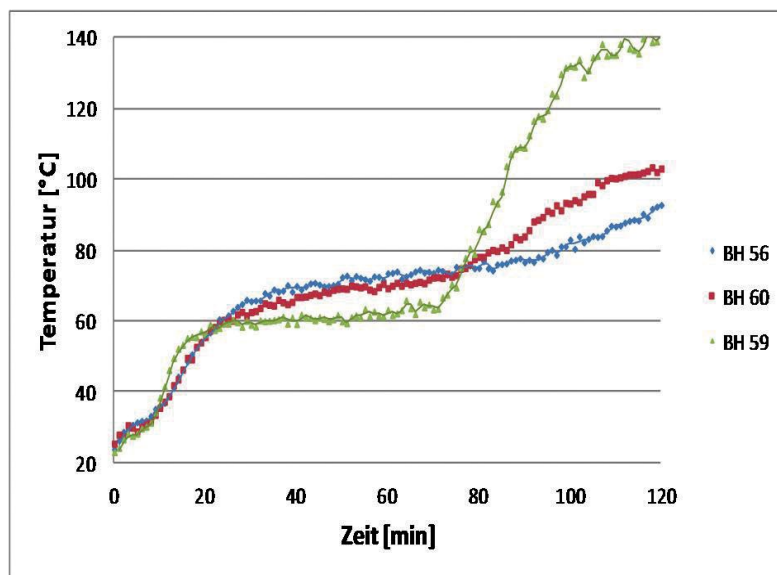


Abb. 2:  
Vergrößerte, gleichmäßige Porenverteilung des mittleren Schaumsteins (BH56) mit einem Porendurchmesser von etwa 500 µm

## Testung der Dämmstoffe auf ihre feuerfesten Eigenschaften

Die trockenen Schaumsteine werden von einer rauschenden Bunsenbrennerflamme von unten im Abstand von fünf cm befeuert, während oberhalb der fünf cm dicken Schaumsteinplatte die Temperatur berührungslos gemessen wird. Der zeitliche Temperaturverlauf auf der Plattenoberfläche ist aufschlussreich (Abb. 3). In den ersten 20 Minuten heizt sich der Schaumkörper auf. Dann stellt sich ein Gleichgewicht zwischen dem von der Flamme durch den Körper fließenden Wärmestrom und der Wärmeabgabe von der Oberfläche an die Umgebung ein. Dadurch bleibt die Plattenoberfläche bei allen drei Platten für ca. 60 Minuten konstant. Die Oberflächentemperatur hängt dabei einzig von der Wärmeleitfähigkeit des Prüfkörpers ab. Bei gut isolierenden Schäumen liegt sie tiefer als bei schlechter isolierenden Schäumen.

Durch die Bunsenbrennerflamme entstehen nach etwa 75 bis 80 Minuten Risse im Prüfkörper, seine Struktur kollabiert. Dadurch steigt der Wärmestrom durch den Prüfkörper schnell an, was zu einem Anstieg seiner Oberflächentemperatur führt.



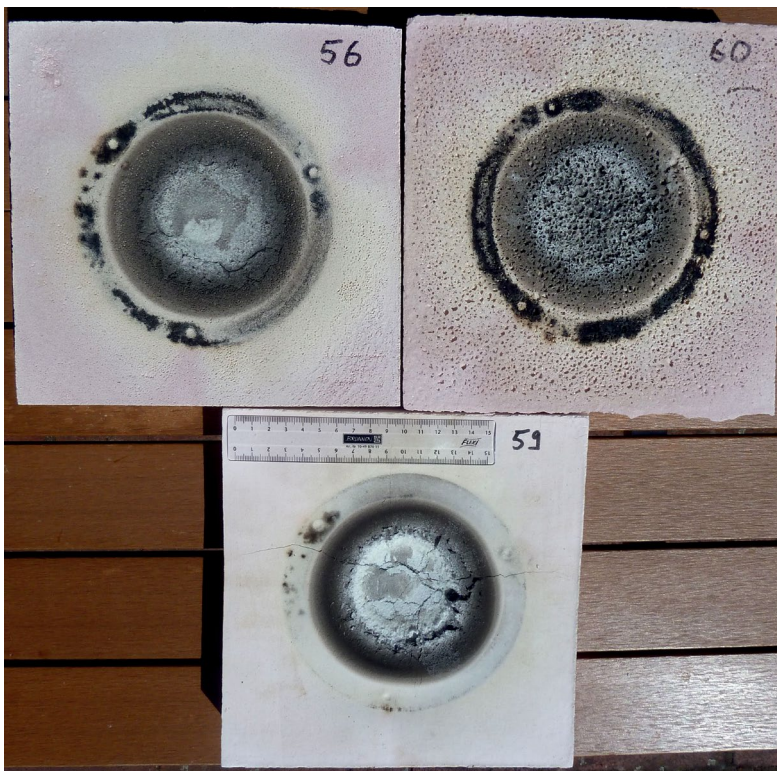
In Abb. 3 ist der Temperaturverlauf auf der Oberfläche der drei Probekörper abgebildet. Die Probe BH59 hat mit 50 µm Durchmesser den kleinsten Porendurchmesser gegenüber 500 µm Porendurchmesser der Probe BH56 und 1000 – 2500 µm Porendurchmesser der Probe BH60. BH59 liegt bei der Oberflächentemperatur volle 10 °C unter der Oberflächentemperatur der beiden anderen Proben. Dieser Effekt wird allein durch die feine Porenstruktur hervorgerufen, denn das Plattenmaterial ist bei allen drei Schaumkörpern nahezu identisch. Die Probe BH56 zeigt die höchste Oberflächentemperatur. Sie liegt auch etwas höher als Probe BH60, hat aber mit 500 µm kleinere Poren als BH60. Zu erklären ist dieser Befund mit einer etwas höheren Dichte (0.2909 g/cm<sup>3</sup>) im Vergleich zur Probe BH60 (0.2793 g/cm<sup>3</sup>).

Abb. 3:  
Temperaturverlauf über die Zeit, gemessen bei den Schaumsteinen BH56 (Porendurchmesser etwa 500 µm), BH60 (Porendurchmesser von 1000 bis 2500 µm) und BH59 (Porendurchmesser 50 µm)

Für die Wärmeleitfähigkeit bedeutsam ist die Dichte eines Körpers und bei Schäumen auch deren Porendurchmesser. Steine mit niedrigen Dichten und kleinen Porendurchmessern isolieren am besten. Für die Stabilität eines Schaumsteins ist die Dicke der Stege zwischen den Poren entscheidend. Hier gilt, dass ein Körper mit filigranen Stegen eher kollabiert als

ein Körper mit dicken Stegen. Dies ist ebenfalls in Abb. 3 zu sehen, denn hier steigt nach 80 min die Temperatur über dem Stein mit den kleinsten Poren (BH59) am schnellsten an. Der Schaumstein mit der mittleren Porengröße (BH56) schützt am längsten vor thermischer Belastung, denn er ist ein guter Kompromiss zwischen Wärmeleitfähigkeit und Stabilität.

Abb. 4:  
Schaumsteine BH56,  
BH59 und BH60 nach  
dem Brennversuch



In Abb. 4 sind die Dämmplatten nach den Brandversuchen abgebildet. Ein Teil der Struktur kollabiert, aber nur im Bereich der größten Wärmebelastung. Durch die guten Isolationseigenschaften der Platten von etwa 80 – 120 W/mK sind schon die Randbereiche der thermischen Belastung nicht mehr beschädigt.

## Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass das neue Hochtemperatur-Isolationsmaterial bis 900 °C stabil ist und erst ab etwa 950 °C schmilzt. Zusammengefasst eröffnen die neuen Steinschäume interessante Möglichkeiten im Brandschutz, da hier maßgeschneiderte brandstabile Strukturen bei Raumtemperatur energiesparend gegossen werden können.

### AUTOR



Prof. Dr. rer. nat. Bernd Spangenberg  
Forschungsgruppe Nachhaltige Silikat-  
forschung, Lehrgebiete Chemie,  
chemische Analytik, Abfall und  
Recyclingtechnik, Bionik  
spangenberg@hs-offenburg.de

### Referenzen/References:

- [1] [https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Geologisches%20Portrait/Lagerst%C3%A4tten/Terrestrisch-aride%20Salzlagerst%C3%A4tten%20\(Soda,%20Borax,%20Salpeter\)?lang=de&language=german](https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Geologisches%20Portrait/Lagerst%C3%A4tten/Terrestrisch-aride%20Salzlagerst%C3%A4tten%20(Soda,%20Borax,%20Salpeter)?lang=de&language=german)
- [2] Chemie in unserer Zeit, 2016, 50, 162–171
- [3] L. Höflinger, Der Spiegel 2014, 40, 106–109
- [4] Aus Sand: Ein Rohstoff wird knapp, Le Monde diplomatique (Deutsche Ausgabe) vom 12.9.2014; <http://www.monde-diplomatique.de/pm/2014/09/12/a0010.text>
- [5] Sand – Die neue Umweltzeitbombe, ARTE; [www.arte.tv/guide/de/046598-000/sand-die-neue-umweltzeitbombe](http://www.arte.tv/guide/de/046598-000/sand-die-neue-umweltzeitbombe); [www.youtube.com/watch?v=CPbdL1WVAcA](http://www.youtube.com/watch?v=CPbdL1WVAcA)
- [6] Strand: Wie Gold am Meer, ZEIT ONLINE – Die Zeit; <http://www.zeit.de/2014/34/strand-sand-verschwinden>
- [7] Sand, rarer than one thinks, UNEP; [www.unep.org/pdf/UNEP\\_GEAS\\_March\\_2014.pdf](http://www.unep.org/pdf/UNEP_GEAS_March_2014.pdf)