

GEFRIERSCHÄUME – ZELLULARE STRUKTUREN FÜR VIELFÄLTIGE ANWENDUNGEN

M. Sc. (Chem.) Matthias Ahlhelm, Dr. Tassilo Moritz

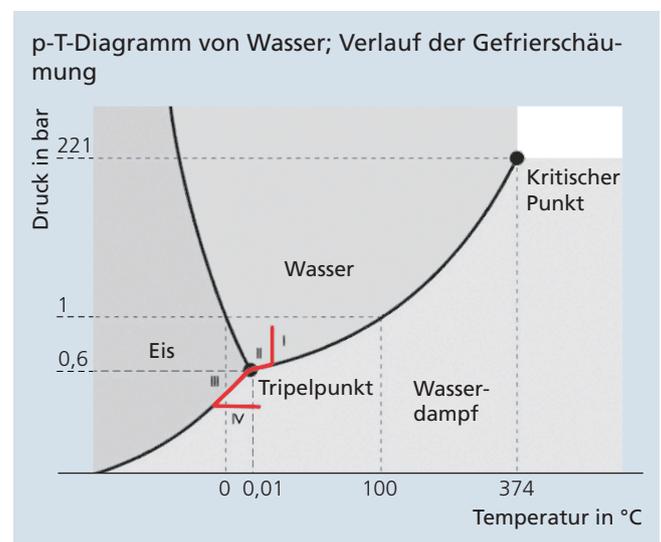
Poröse, zelluläre keramische Materialien zeichnen sich neben den bekannten typisch keramischen Eigenschaften (z. B. Verschleißfestigkeit, Sprödigkeit) durch eine hohe Vielfältigkeit in ihren Anwendungsmöglichkeiten aus. Dabei reichen die Applikationen von der Biomedizin (Membran-Bioreaktoren, Knochengestelle) über die Biomimetik (wabenhöhlige Filter) bis in den Bereich der Technik (Reaktions- und Brenntechnik, Dämmmaterialien oder Feuerfesterzeugnisse).

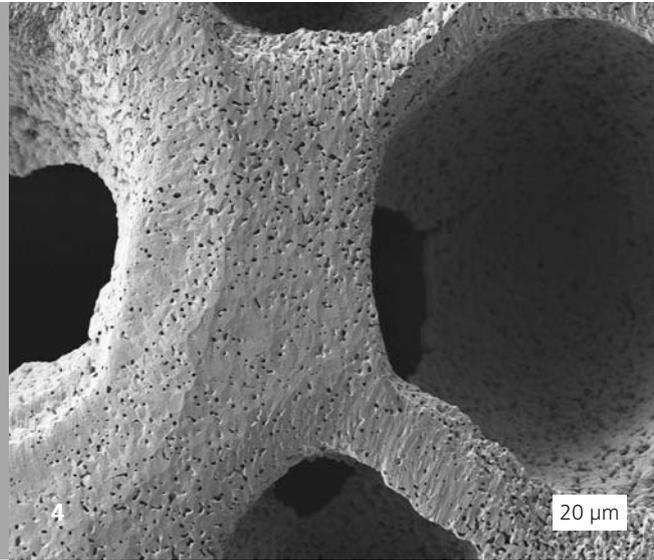
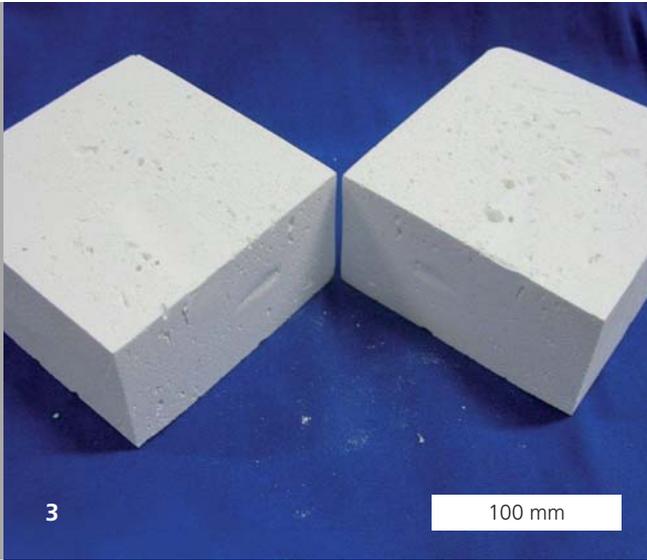
Der hier vorgestellte Prozess der Gefrierschäumung hat das Potenzial, mindestens zwei dieser Bereiche zu bedienen. Gefrierschäumen ist das Aufschäumen einer wässrigen keramischen oder metallischen Suspension mit direkt anschließender Gefriertrocknung der entstandenen porösen Struktur. Dazu wird in einem Gefriertrockner der Umgebungsdruck gesenkt, wodurch die prozesstechnisch eingebrachte Luft, vor allem aber der entstehende Wasserdampf, die Suspension aufbläht (nebenstehende Graphik, Kurvenabschnitte I-II). Da durch Verdampfung im wässrigen System die Temperatur weiter absinkt, friert am Übergangspunkt zwischen flüssigem, gasförmigem und festem Gleichgewichtszustand (Tripelpunkt) die aufgeschäumte Suspension schlagartig ein. Dieser stabile Protoschaum wird getrocknet, indem über die Stellflächen Heizwärme abgegeben wird, wodurch das gefrorene Wasser sublimiert (Kurvenabschnitt IV).

So wurde schließlich unter Verwendung von Hydroxylapatit (Merck KGaA und SIGMA-ALDRICH Cooperation) ein poröser, keramischer Schaum hergestellt, welcher nachweislich biokompatibel ist, als Medium zur Zellkultivierung (Bild 2) und sogar als Templat für die Differenzierung in unterschiedliche

Gewebetypen dienen kann. Nach Erreichen einer dem realen Knochen ähnlichen Härte wäre somit auch ein Einsatz als Implantat denkbar.

Dabei bietet das Verfahren der Gefrierschäumung ebenfalls die Möglichkeit, erwünschte zelluläre Strukturen, z. B. durch Kautschukformen, in anwendungsnahe Formen zu bringen. Bild 1 zeigt ein solches Hydroxylapatit-Replikat in Form eines Daumenknochens. Die für eine erfolgreiche Zellkultivierung notwendige Porenstruktur ist mittels zerstörungsfreier computertomographischer Aufnahmen (PROCON X-Ray, max. 150 kV) und Bildanalyseprogrammen (Porescan, Image J) sowie über Quecksilberdruckporosimetrie charakterisierbar.





In weiteren Studien gelang mit einem Mullitpulver (NABALTEC, K0/K0c) die Maßstabsübertragung auf größere Geometrien. Im Ergebnis wurden so Gefrierschäume realisiert, die die Abmaße 235 x 114 x 70 mm³ aufweisen und in ihrer Anwendung als potenzielle Feuerleichtsteine (Bild 3) dienen können. Wie in der untenstehenden Graphik zu sehen, wurden bereits für die ersten getesteten Proben (H01-H09) die Feuerfestanforderungen erfüllt. Es wurden ähnliche Wärmeleitfähigkeitswerte wie bei marktgängigen Produkten erzielt.

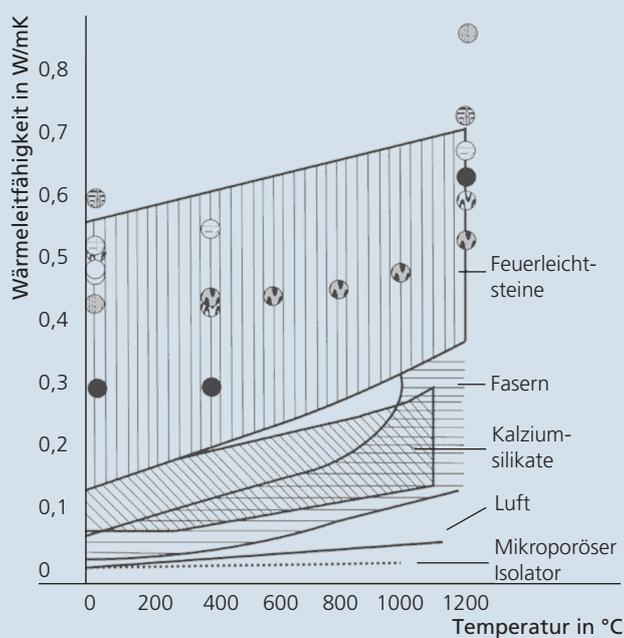
Bisher sind gefriereschäumte, zelluläre Strukturen nur im Labormaßstab herstellbar. Eine gezielte Steuerung der Prozesspa-

rameter sowie eine Anpassung der Apparatur lassen jedoch eine Steigerung der Herstellungsmenge realistisch erscheinen. Neben den vorgestellten Materialien sind auch andere keramische Ausgangsmaterialien wie SiC, ZrO₂, Al₂O₃, Hybridmischungen und ebenso Pulvermetalle (z. B. Stahl) mittels Gefrierschäumung in poröse Halbzeuge überführbar.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Gefrierschäumung
- Gefriertrocknung
- Suspensionsentwicklung

Vergleich Wärmeleitfähigkeiten gefriereschäumter Mullitproben mit Marktprodukt der Rath AG (Porrath FL 30-11)



- H06
- Porrath FL 30-11
- H08
- H01
- H02
- H09
- H03/04

- 1 Daumenknochenreplikate aus gefriereschäumtem Hydroxylapatit.
- 2 Lebendfärbung kultivierter hMSCs (human mesenchymal stem cells) im Hydroxylapatit-Schaum, Nachweis mit Fluoresceindiacetat; in Kooperation mit dem Fraunhofer IBMT.
- 3 Feuerleichtstein, gefriereschäumt.
- 4 Gefriereschäumte Mikrostruktur, ionenpoliert (Hydroxylapatit).