

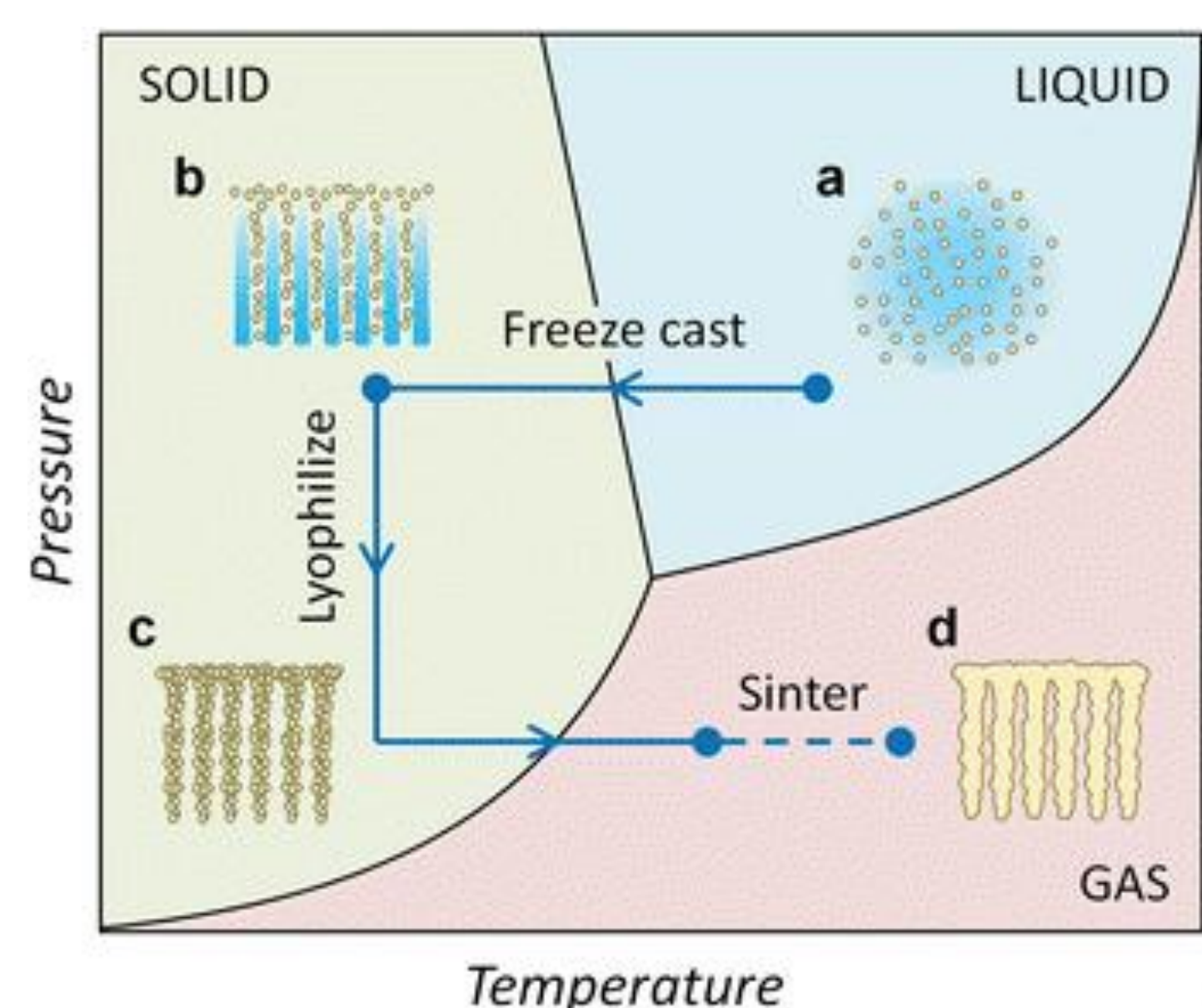
Bauteile aus Marsstaub

Motivation & Hintergrund

Die dauerhafte Präsenz von Menschen auf Mond und Mars ist ein erklärtes Ziel internationaler Raumfahrtprogramme. Die Herausforderung liegt hierbei nicht nur in der Reise, sondern auch in der Gewinnung von Ressourcen vor Ort für die Produktion von Verbrauchsmaterialien und Ersatzteilen. Solange jedes Kilogramm Material von der Erde transportiert werden muss, bleibt die Entwicklung extraterrestrischer Technologien technisch und wirtschaftlich stark limitiert. Regolith hingegen steht auf Mond und Mars in großen Mengen zur Verfügung und bietet sich als lokal verfügbarer Rohstoff an. Offen ist die Verarbeitung: Klassische Sinter- und Zementverfahren brauchen hohe Temperaturen, Drücke oder Zusatzstoffe, die auf dem Mars schwer zu gewährleisten sind. Freeze-Casting stellt hier einen vielversprechenden Ansatz dar, da dieses wasserbasierte Verfahren prinzipiell mit den Umgebungsbedingungen des Mars (~6 mbar, Tag-Nacht-Schwankungen zwischen +27 °C und -133 °C) kompatibel ist. Vor diesem Hintergrund wurden im Projekt Proben aus einem realistischen Mars-Simulant hergestellt und charakterisiert.

Rocks: Windows to History of Mars, NASA Video and Image Library

Methodische Vorgehensweise



Phasendiagramm mit Prozessschritten des Freeze-Casting, Porter et. al. (2013) Biomimetic Materials by Freeze Casting



Prozessschema vom Freeze-Casting, Erstellt in <https://BioRender.com>

Situation auf dem Mars

- Temperaturen zwischen -133 °C und 27 °C (im Mittel -60 °C)
- Atmosphärendruck bei ~6 mbar
- Tripelpunkt Wasser bei ~0,01°C und ~6 mbar

In verschiedenen Versuchsreihen mit dem Mars-Regolith-Simulanten wurden die Einflüsse von Bindemittel und Gefriertemperatur untersucht. Der Simulant wurde sowohl in natürlicher Form als auch nach thermischer Vorbehandlung (Kalzinierung) verarbeitet, um den Einfluss der enthaltenen Tonminerale zu bewerten. Alle Versuchsreihen folgten demselben Ablauf: Das Pulver wurde mit Wasser und Bindemittel zu einer Suspension verarbeitet, in Formen gefüllt, entlüftet und anschließend kontrolliert eingefroren. Danach erfolgte die Trocknung im Vakuum. Dabei verdampft das Eis direkt aus dem festen Zustand und hinterlässt eine poröse Struktur. Im Anschluss wurde die Porosität bestimmt und die Mikrostruktur mikroskopisch auf Risse und Schichtaufbau analysiert. Ausgewählte Proben wurden zudem hinsichtlich Druck- und Zugfestigkeit untersucht.

Zusammensetzung der Proben

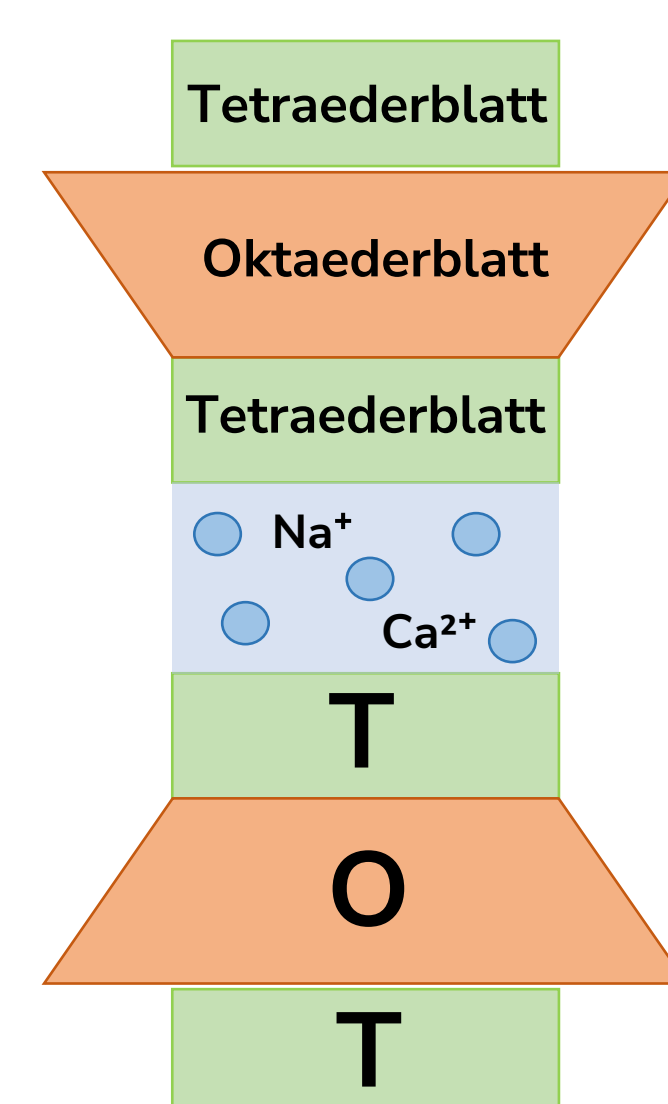
Da echter Marsregolith nicht verfügbar ist, kam MGS-1C als Mars-Simulant zum Einsatz. Dieser ist eine von Exolith Lab (University of Central Florida) entwickelte Nachbildung tonmineralreicher Marsregionen.

Was den Mars-Simulanten technisch so anspruchsvoll macht, ist sein Anteil von rund 40 % an Smektit, einem Tonmineral mit besonderer Schichtstruktur. Smektit besteht aus gestapelten Kristallschichten (sog. TOT-Schichten), zwischen denen Natrium- und Calcium-Ionen sitzen, die Wassermoleküle stark anziehen. Sobald das Pulver mit Wasser vermischt wird, dringt Wasser in den Zwischenschichtraum, das Mineral quillt und der Schichtabstand verdoppelt sich. Aus dem gießfähigen Schlicker wird eine zähe, knetartige Masse. Ein kontrolliertes Befüllen der Formen ist kaum noch möglich.

Um das Quellverhalten zu umgehen, wurden zwei Strategien verfolgt. Erstens eine reduzierte Gefriertemperatur von -20 °C statt -140 °C, da das in den Tonschichten eingelagerte Wasser erst unter ca. -80 °C gefriert. Zweitens eine thermische Vorbehandlung des Pulvers (Kalzinierung bei 800 °C, 3 h): Das Zwischenschichtwasser wird dabei irreversibel entfernt und die TOT-Schichtstruktur kollabiert. Der Simulant verhält sich danach wie ein konventionelles Keramikpulver ohne Quellvermögen.



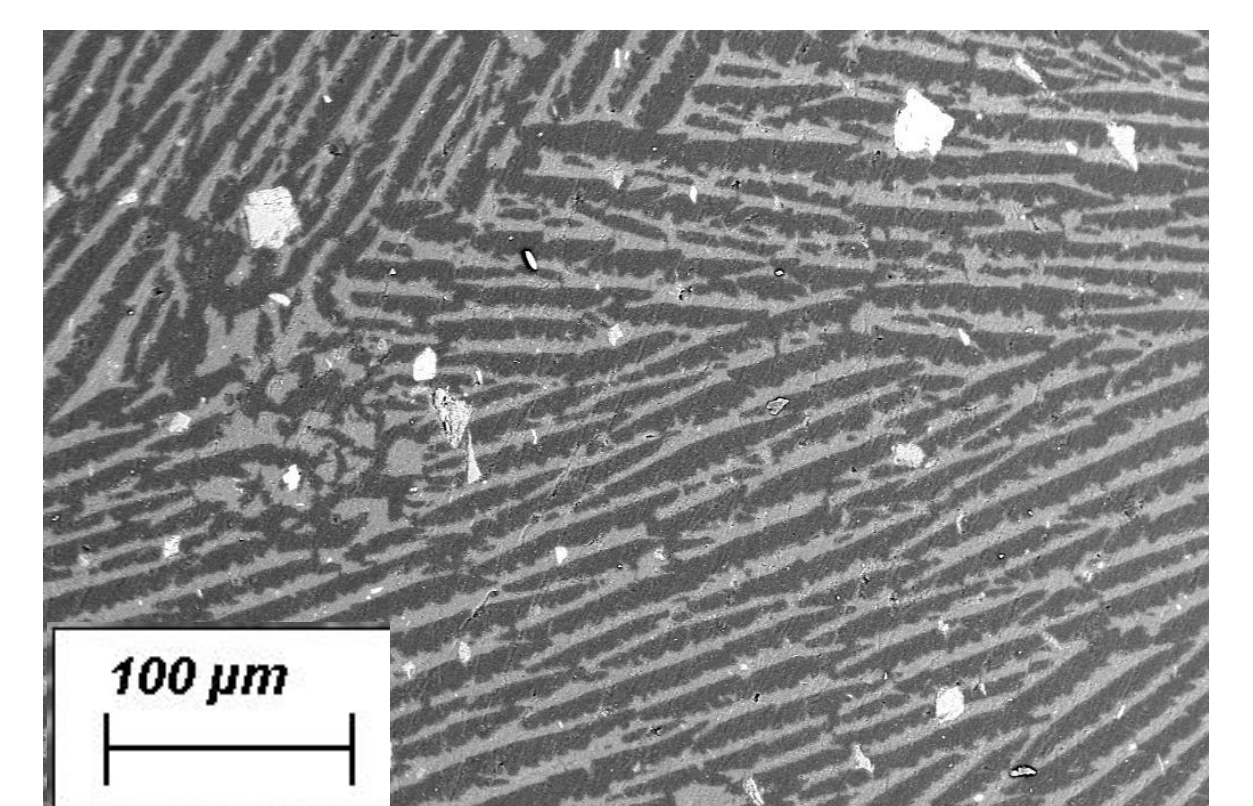
MGS-1C Mars-Simulant, Anbieter: Space Resource Technologies



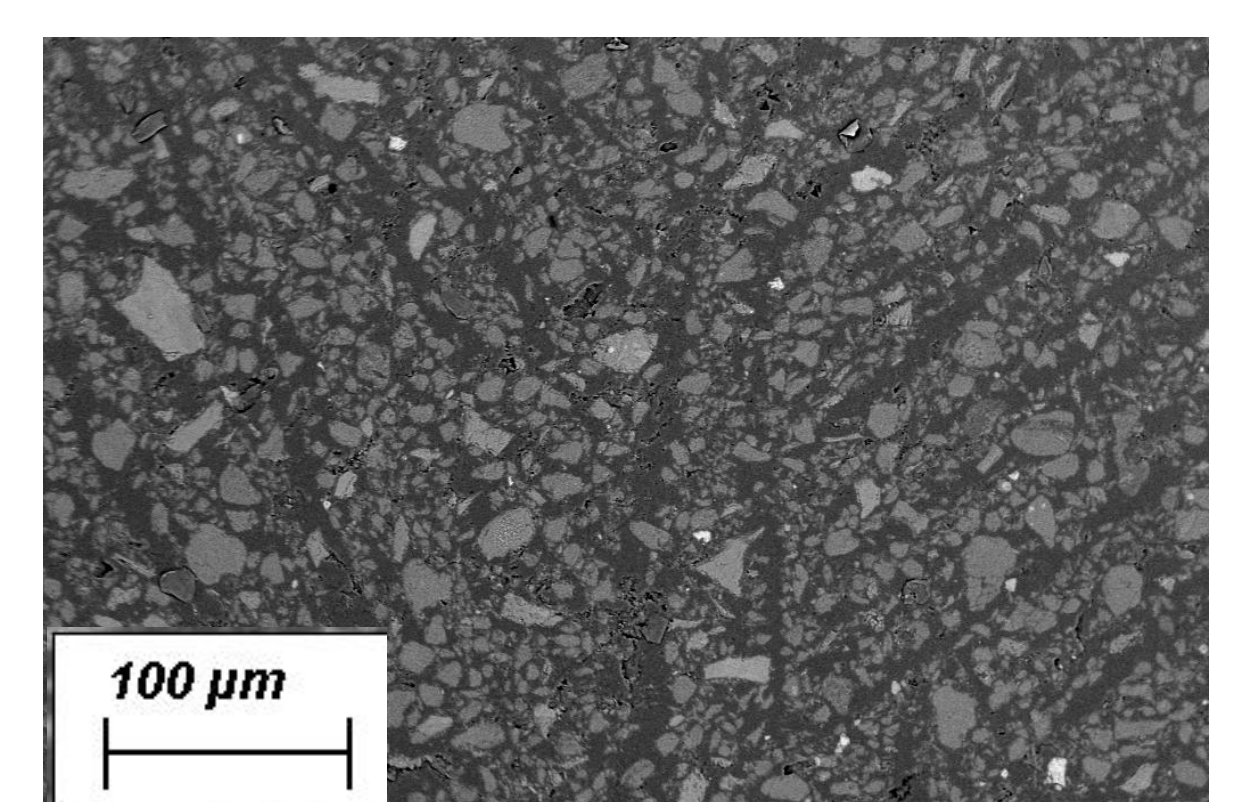
TOT-Schichtstruktur

Erkenntnisse

Im unbehandelten Material ordnen sich die plättchenförmigen Smektit-Partikel beim Einfrieren parallel zur Eisfront aus, es entsteht eine Fischgrätenstruktur mit großvolumigen, gerichteten Poren. Im kalzinierten Material fehlt dieses Muster, die Poren verteilen sich gleichmäßiger. Die Mikro-CT-Aufnahme macht die innere Porenstruktur der Grünkörper dreidimensional sichtbar und ergänzt die zweidimensionalen Mikroskopaufnahmen. Die Porosität bestätigt den Unterschied quantitativ. Unkalzinierte Reihen liegen über 61% Porosität, kalzinierte Proben hingegen bei etwa 53%. Die reine Temperaturanpassung zeigte dagegen keinen messbaren Unterschied.



REM: Regolith (unkalziniert) + Silicat-sol



REM: Regolith (kalziniert) + PVA-sol



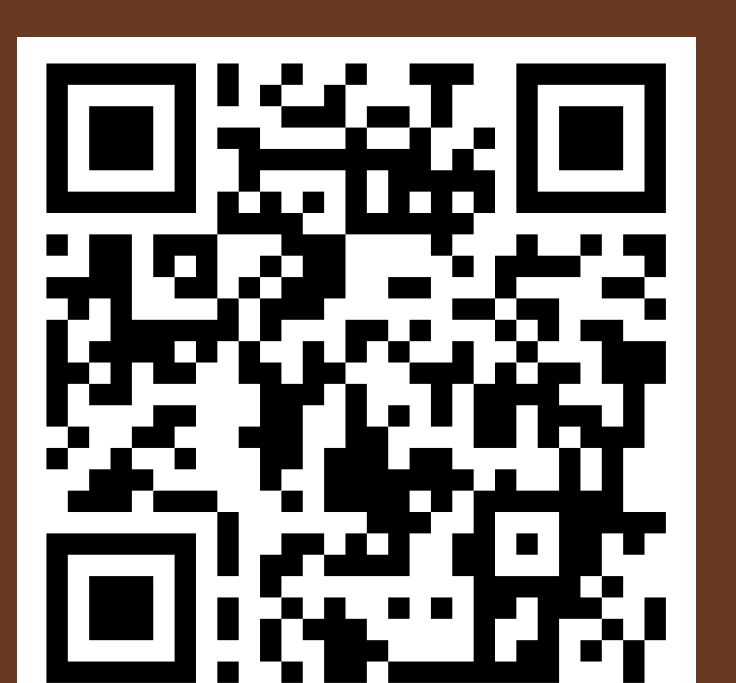
CT-scan: Regolith(unkalziniert) + Silicat-sol



Regolith(kalziniert) + PVA-sol (links), Regolith(unkalziniert) + PVA-sol (rechts)

Fazit

Das Freeze-Casting-Verfahren funktioniert prinzipiell auch mit komplexem Mars-Regolith-Simulanten, doch die Vorbehandlung des Rohmaterials entscheidet über den Erfolg. Eine Kalzinierung bei 800 °C beseitigt das Quellverhalten der enthaltenen Tonminerale und ermöglicht eine kontrollierbare Mikrostruktur als Grundlage für tragfähige Bauteile. Die mechanische Validierung der kalzinierten Proben steht noch aus und ist der nächste konsequente Schritt. Ein bemerkenswerter Nebeneffekt der Methode: Das bei der Kalzinierung freigesetzte Wasser ist auf dem Mars eine wertvolle Ressource für Lebenserhaltung, Treibstoffproduktion oder zur Anmischung weiterer Schlickerchargen. Das Freeze-Casting-Verfahren erweist sich somit als eine vielversprechende Methode zur Herstellung struktureller Bauteile, die potenziell in einem geschlossenen ISRU-Kreislauf integriert werden könnte.



Hier scannen für unseren vollständigen Projektbericht!



Video zum Poster

Ein Beitrag von:

Luca Wilkening
Universität Bremen
luca.wilkening@gmx.net

Söhnke Siemers
Universität Bremen
soehnkesiemers@gmail.com

