Verarbeitungstechnologien für Geopolymere: 3D-Druck und mechanische Bearbeitung

N. Toniolo[1], V. Bednarzig[1], J.A. Roether[2], H. Rost[1], A.R. Boccaccini[1]

Zusammenfassung: Geopolymere finden aufgrund ihrer guten mechanischen Eigenschaften in Kombination mit ihrer umweltfreundlichen Herstellungsweise weiterhin großes Interesse. Die Anwendungen von Geopolymeren sind jedoch nach wie vor auf ein begrenztes Feld, z. B. als Baumaterial, beschränkt,. Die Konstruktion und Herstellung von Komponenten mit komplexer Form, für Anwendungen jenseits dieses Feldes, kann einen nützlichen Ansatz zur Erweiterung von Geopolymeranwendungen darstellen. In dieser Studie werden unkonventionelle Verarbeitungs- und Veredelungstechnologien wie Direktdruck, Bohren und Zerspanung untersucht, um ihre Eignung für Geopolymere nachzuweisen. Geopolymere auf Flugaschebasis, die eine relevante Menge an Altglas enthalten, besitzen geeignete Fließeigenschaften für den Einsatz in einem Direktdruckverfahren. Darüber hinaus zeigten die Geopolymerproben eine hohe Zerspanbarkeit: Die Komponenten wurden in einer Drehmaschine gebohrt und bearbeitet, um eine bessere Oberflächengüte, gleichmäßige Maßhaltigkeit und komplexe Formteile zu erhalten. Die hier vorgestellten Ergebnisse zeigen Möglichkeiten zur Erweiterung der Anwendungen von Geopolymeren in Bereichen wie dem Maschinenbau, in denen Komponenten mit genauen, speziell entwickelten Formen und Oberflächen erforderlich sind.

Abstract: Geopolymers continue to attract interest owing to their good mechanical properties in combination with the ecofriendly fabrication process. However, the applications of geopolymers are still restricted to a limited field, mainly as construction materials. Designing and fabricating components of complex, intricate shape for applications beyond building materials may represent a useful approach to broaden geopolymer applications. In this study, unconventional processing and finishing technologies, such as direct ink printing, drilling, and machining are investigated to demonstrate their suitability for geopolymers. Fly ash-based geopolymers incorporating a relevant amount of waste glass demonstrated suitable flow properties to be used in a direct ink printing process. Moreover, the geopolymer specimens showed high machinability: components were drilled and machined in a lathe obtaining superior surface finish, uniform dimensional accuracy, and complex shape parts. The results presented herein indicate opportunities for expanding applications of geopolymers in areas such as mechanical engineering, where components with accurate, specifically designed shapes and surface finish are needed.

Stichworte: Geopolymere, Bearbeitbarkeit, 3D-Drucken

1. Einführung

Geopolymere sind anorganische Alumosilikatmaterialien, die durch Auflösung und Polykondensation von Silizium und Aluminium aus einer Vielzahl von Rohstoffen in alkalischem Medium hergestellt werden [1, 2]. Das Ergebnis ist eine dreidimensionale Struktur, bestehend aus SiO_4 und AlO_4-Tetraedern, die durch Sauerstoffatome miteinander verbunden sind. Positive Na^+- und K^+-Ionen in den Gerüsthohlräumen ermöglichen die tetraedrische Koordination von Al^{3+}-Ionen mit Sauerstoff, analog zu Si^{4+}-Ionen.

Ein wesentlicher Vorteil der Geopolymertechnologie ist die Möglichkeit, verschiedene Arten von industriellen Silikatabfällen, die sonst deponiert werden, als Rohstoffe zu

Autor

ALDO R. BOCCACCINI (aldo.boccaccini@ww.uni-erlangen.de), der korrespondierende Autor, ist Professor für Biomaterialien und Inhaber des Lehrstuhls für Werkstoffwissenschaften (Biomaterialien), Department Werkstoffwissenschaften der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Zuvor war er Professor für Materialwissenschaften und Ingenieurwesen am Imperial College London, Großbritannien (2000 - 2009), an dem er derzeit Gastprofessor ist. Boccaccini hat einen MEng-Abschluss des Instituto Balseiro (Argentinien), einen PhD (Dr.-Ing.) der RWTH Aachen (Deutschland) und eine Habilitation der Technischen Universität Ilmenau (Deutschland).

verwenden [3]. Die Verwendung von Abfällen bei der Synthese von Geopolymeren ermöglicht den Einsatz in wertschöpfenden Anwendungen und schont so wertvolle Ressourcen auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung.

Geopolymere werden vor allem für die Bauindustrie als umweltfreundlicher Ersatz für Portlandzement entwickelt, da sie aufgrund ihrer geeigneten mechanischen Eigenschaften, ihrer chemischen Beständigkeit und der mit ihrer Herstellung verbundenen footprint-armen Emissionen [4] einen geeigneten Ersatz darstellen. Darüber hinaus können Geopolymere in vielen Anwendungen jenseits von Beton eingesetzt werden, wie z.B. in feuer- und säurebeständigen Beschichtungen, Filtern, Thermoschock-Feuerfestmaterialien, Verbundwerkstoffen, Hightech-Harzsystemen oder zur Immobilisierung von Sonderabfällen [5-9].

Die meisten bisherigen Arbeiten an Geopolymeren konzentrierten sich auf die Herstellung und Charakterisierung von einfach geformten Teilen, z.B. für den Einsatz in der Bauindustrie. Wenig Aufmerksamkeit wurde in den meisten Fällen der Entwicklung von Bauteilen mit komplexen Konstruktionsformen geschenkt. Durch neue Verarbeitungstechnologien oder die Erforschung von Bearbeitungstechniken, um Teile mit überlegener Oberflächengüte und Formgenauigkeit zu erreichen, die wiederum Anwendungen in anderen Bereichen, wie beispielsweise dem Maschinenbau, ermöglichen könnten, hat sich dies grundlegend verändert.

Ziel dieses Artikels ist es, die positiven Faktoren hervorzuheben, die die Geopolymertechnologie begünstigen, nicht nur gegenüber der kostengünstigen Verarbeitung und Stabilisierung von Abfallstoffen, sondern auch der Möglichkeit, Geopolymerkomponenten mit (für Geopolymere) unkonventionellen und innovativen Technologien zu verarbeiten.

In dieser Arbeit werden der direkte Druck und die Bearbeitbarkeit von Geopolymeren untersucht, um das Anwendungsspektrum abfallhaltiger Geopolymerwerkstoffe zu erweitern.

In jüngsten Veröffentlichungen von Franchin et al. [10] und Xia et al. [11] wurden Geopolymere mit hoher Genauigkeit gedruckt, jedoch gibt es keine früheren Veröffentlichungen über den Druck von Geopolymeren mit hohen Abfallmengen. Darüber hinaus gab es nach Kenntnis der Autoren keine Untersuchungen zur Bearbeitbarkeit von Geopolymeren zur Herstellung neuartiger 3D-Komponenten mit vorgegebener (gestalteter) Form und Oberfläche.

2. Werkstoffe und Methode

2.1 Werkstoffe

Für diese Untersuchung wurde ein neues Geopolymer in Betracht gezogen, das auf einer mit Soda-Kalk-Abfallglas gefüllten Flugaschezusammensetzung basiert. Das Altglas wurde als Ersatz für Natriumsilikat verwendet, das häufig in der Geopolymersynthese verwendet wird. Diese neue Geopolymerformulierung ist interessant, da sie einen erheblichen wirtschaftlichen Vorteil und eine umweltfreundliche Lösung für das alternative Deponieren solcher Rückstände darstellt. Neben dem Erreichen der geforderten mechanischen Leistung erfordert der Ersatz traditioneller keramischer Werkstoffe durch Geopolymere in technischen Anwendungen, dass eine standardisierte und langfristige Fertigungsfähigkeit des Materials nachgewiesen wird, um die Reproduzierbarkeit für den breiten Einsatz zu gewährleisten.

Als Rohstoffe wurden Flugasche der Klasse F (ASTM C 618) [12] von Steag Power Minerals (Gladbeck, Deutschland) mit einer mittleren Partikelgröße von 20 µm und Kalk-Natron-Abfallglas aus der kommunalen Abfallsammlung (SASIL S.p.a, Brusnengo, Biella, Italien) in Form von Feinpulver mit einer Partikelgröße < 30 µm verwendet. Tabelle 1 fasst die chemische Zusammensetzung der mittels Röntgenfluoreszenz bestimmten Rohstoffe zusammen.

Der alkalische Aktivator war eine Natriumhydroxidlösung, die bei 8 M unter Verwendung von Natriumhydroxidflocken (Merck 99,5 %) in destilliertem Wasser hergestellt wurde.

Tabelle 1 Chemische Zusammensetzung von Flugasche (FA) und Kalk-Natron-Glas (SLG – Soda Lime Glass) als Rohstoffe (© Lehrstuhl für Biomaterialien, Universität Erlangen-Nürnberg)

Masse-%	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3	TiO_2
FA	54,36	24,84	0,83	3,03	2,56	2,06	8,28	1,07
SLG	70,5	3,20	12,00	1,00	10,00	2,30	0,42	0,07

2.2 Probenpräparation

Ein Geopolymerschlamm (der in diesem Fall als „Tinte" bezeichnet werden kann, da er für den 3D-Druck verwendet wird) wurde hergestellt, indem 64 Massen-% Flugasche und 36 Massen-% Altglas mit 8-molarer Natriumhydroxidlösung gemischt wurden. Das Verhältnis von Flüssigkeit zu Feststoff wurde auf 0,45 festgelegt, um eine gute Verarbeitbarkeit zu erreichen. Die Rohstoffe wurden 4 h unter mechanischem Rühren gelagert, um eine homogene Aufschlämmung zu erhalten. Nach dem Mischen wurde die Tinte in eine Kunststoff-Kartusche überführt , in der das Material direkt gedruckt werden kann.

Für die Zerspanbarkeitsprüfung wurde das Gemisch in polyethylenversiegelte zylindrische Formen gegossen und 5 min lang Vibrationen ausgesetzt, um die mitgeführte Luft zu entfernen. Um die Polykondensationsreaktion abzuschließen, wurden die Proben für 48 h in einem Ofen bei 60 °C gehärtet. Es wurden zylindrische Proben mit 16 mm Höhe und 14 mm Durchmesser hergestellt.

2.3 Direkter Tintendruck

Poröse 3D-Geopolymerstrukturen wurden durch additive Fertigung mit einem Bioplotter (Typ BioScaffolder 2.1; GeSiM, Großerkmannsdorf, Deutschland) hergestellt. Dieser Bioplotter ist mit einem in drei Raumachsen beweglichen Druckkopf, einem Druckluftsystem und einer statischen Plattform ausgestattet. Das Druckluftsystem ist mit den Kartuschen kompatibel (dient als Speicher für das Plotmaterial). Die Nadeln, durch die während des Druckvorgangs die Tinte gedrückt wird, wurden von Nordson EFD (Schweiz) gekauft. Dieses System wird üblicherweise zur Herstellung von Scaffolds für biomedizinische Anwendungen verwendet [13], wurde aber hier für Geopolymerteile eingesetzt. Zur Definition der Dimension und Form der Strukturen (im vorliegenden Fall rasterförmige Konstruktionen) wurde die vom Hersteller verfügbare Software „Scaffold-Generator" verwendet. Mit dieser Software können die Höhe der verschiedenen Schichten in z-Richtung, die Kantenlängen des Gerüsts sowie die Plotgeschwindigkeit und die Anzahl der geplotteten Stränge definiert werden. Die gitterartigen Strukturen wurden direkt in eine Zellkulturplatte (VWR-Chemikalien) gedruckt, die auf der statischen Plattform fixiert wurde. Die Proben wurden bei Raumtemperatur ausgehärtet.

Als Proof-of-Concept-Experiment wurde ein rasterartiges Gerüst mit einer Plotgeschwindigkeit von 20 mm/s, drei Schichten und fünf Streben pro Schicht aufgetragen. Die beiden gewählten Nadeln hatten Innendurchmesser von 0,84 mm und 1,36 mm. Die Morphologie der Gerüste wurde mit einem optischen Mikroskop (Zeiss Stereolupe Stemi 508) untersucht.

2.4 Bearbeitung

Zylindrische Muster, die wie in Abschnitt 2.2 beschrieben hergestellt wurden, wurden konventionell auf eine Drehmaschine gespannt und anschließend mit einer Drehzahl von 800 U/min mit einer Weiler-Matador-VS2-Maschine (Weiler Werkzeugmaschinen GmbH, Emskirchen, Deutschland) bearbeitet. Die Proben wurden mit einem Drehwerkzeug aus Hartmetall bearbeitet. Zum Bohren wurden Geopolymerzylinder mit einem Edelstahlwerkzeug von 5 mm Durchmesser bei einer Drehzahl von 800 U/min perforiert. Während des Prozesses wurde kein Schmiermittel verwendet.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Direkter Tintendruck

Der direkte Druckvorgang stellt für Geopolymere eine Herausforderung dar, da die Aufschlämmung laufenden Polykondensationsreaktionen ausgesetzt ist, die die rheologischen Eigenschaften im Laufe der Zeit kontinuierlich verändern [10]. Aus diesem Grund sollten verschiedene Schlüsselparameter wie Partikelgröße, Alkaliviskosität, Druckgeschwindigkeit und Druckkraft optimiert werden, um eine extrudierbare Aufschlämmung zu erhalten. Es ist wichtig zu betonen, dass in dieser Studie der Schlamm nach dem mechanischen Mischen der Rohstoffe verwendet wurde, ohne Zugabe eines Rheologiemodifikators.

Das Geopolymermaterial wurde durch zwei verschiedene Nadelgrößen extrudiert und die resultierenden 3D-Strukturen sind in Bild 1 dargestellt.

Die extrudierte Tinte besitzt das Verhalten eines Gels, das für Geopolymere nach der Auflösung der Rohstoffe typisch ist. Die Stränge behielten ihre Form, nachdem jedes Filament übereinander abgeschieden wurde, was eine schnelle Viskositätserholung bestätigt. Trotz dieses positiven Ergebnisses zeigten die gedruckten Strukturen nach 28 Tagen eine leichte Deformation. Der geringe Grad des Zusammenbruchs könnte durch zu schwach vernetzte Strukturen verursacht worden sein, die mit denen eines weichen Gels vergleichbar sind, oder es könnte auf eine ineffiziente Materialdispersion zurückzuführen sein. Bild 1 zeigt Filamente mit begrenzter Durchbiegung und Deformation , außerdem waren bei den Endstrukturen keine Risse oder Oberflächenfehler erkennbar. In Bild 1b sind einige Poren in der Struktur sichtbar, die wahrscheinlich durch Wasserverdampfung, Lufteinschlüsse während der Vorbereitung der Aufschlämmung oder durch Einfüllen der Aufschlämmung in die Kartusche für den Druckprozess verursacht wurden.

Darüber hinaus bleibt das seitliche Gitter offen und weist eine quadratische Form auf, insbesondere beim Extrudieren durch die 0,84-mm-Nadel, was qualitativ bestätigt, dass die rheologischen Eigenschaften der Tinte für das Drucken einer porösen Geometrie geeignet sind. Franchin et al. [10] produzierten verschiedene Mischungen, um diejenige mit der besten Rheologie zu individualisieren, um 3D-Druckgerüste mit guten mechanischen Eigenschaften zu erhalten. Im Gegensatz zu der zuvor genannten Studie wurden in dieser Arbeit keine Additive wie PAA (Polyacrylsäure) oder PEG (Polyethylenglykol) eingesetzt, um die Möglichkeit zu testen, eine abfallbasierte Geopolymertinte ohne die Notwendigkeit der Zugabe von (teuren) chemischen Reagenzien zu drucken. Aus den Ergebnissen lässt sich schließen, dass nicht nur ein Geopolymergemisch mit relativ hohem Abfallanteil druckbar ist, sondern auch, dass keine Verzögerungsmittel oder Weichmacher benötigt werden und dies somit ein Ausgangspunkt für die Entwicklung einer „grünen" 3D-Ver-

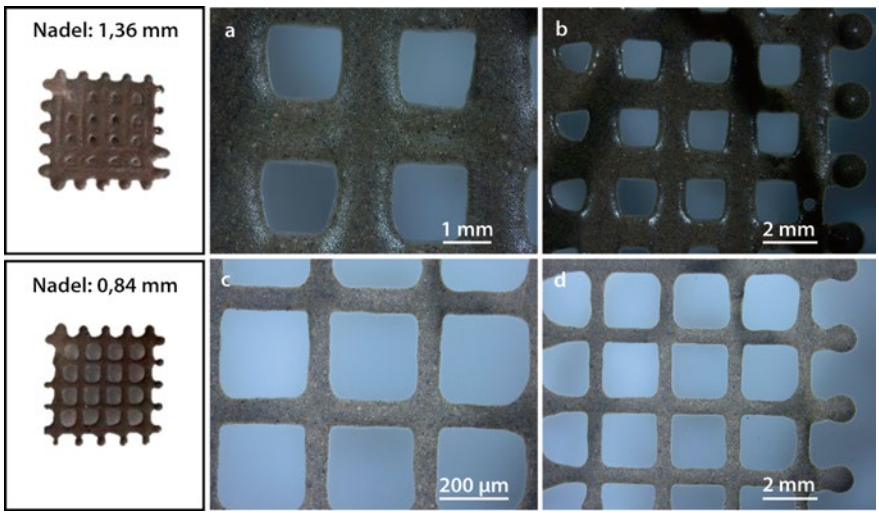

Bild 1 Mikroskopische Aufnahmen der direkt bedruckten Geopolymerstrukturen: (a) und (b) wurden mit der 1,36-mm-Nadel gedruckt, während (c) und (d) mit der 0,84-mm-Nadel gedruckt wurden (© Lehrstuhl für Biomaterialien, Universität Erlangen-Nürnberg).

arbeitungstechnologie für Geopolymerkomponenten ist.

3.2 Zerspanbarkeitsprüfung

Wie bereits erwähnt, weisen Geopolymere eine Reihe vorteilhafter Eigenschaften wie umweltfreundliche Herstellung, chemische Stabilität, Druckfestigkeit und geringe Schrumpfung auf. Bisher aber liegen nach Kenntnis der Autoren keine technischen Informationen über die Zerspanbarkeit von Geopolymerteilen in der verfügbaren Literatur vor. In den vorliegenden Proof-of-Concept-Experimenten wurde die Anwendbarkeit von zwei Standardbearbeitungsverfahren untersucht, nämlich die Bearbeitung auf der Drehmaschine und das Bohren an zylindrischen Geopolymerproben. Im ersten Teil der Experimente wurden die zylindrischen Proben auf der Drehmaschine bearbeitet, um eine bestimmte Form zu erhalten, wie in Bild 2 dargestellt.

Die Proben erwiesen sich als geeignet, auf einer Drehmaschine und Standardwerkzeugen aus Metall bearbeitet zu werden, um die gewünschte Endform zu erhalten. Das Mikroskopiebild in Bild 2, ganz rechts, veranschaulicht die endgültige Geopolymerprobe nach der Verarbeitung. Die endgültige Form war sehr exakt, außerdem breiteten sich während der Arbeit an der Drehmaschine keine Risse aus. Im zentralen Teil der endgültigen Geopolymerprobe sind einige Blasen sichtbar, wahrscheinlich Luftblasen, die während der Synthese in den Proben eingeschlossen wurden und daher nicht mit dem Bearbeitungsprozess zusammenhängen. Die Oberfläche der Probe war glatt und nach dem Prozess waren keine Vorsprünge oder Defekte sichtbar. Darüber hinaus zeigten die Proben eine einheitliche Maßhaltigkeit.

Zylindrische Geopolymerproben wurden ebenfalls mit einem Metallwerkzeug gebohrt, um ein Loch von 5 mm Durchmesser in der Mitte der Probe zu realisieren (Bild 3). In dem Bild einer perforierten Probe (Bild 3, ganz rechts) ist die Präzision der Lochform ersichtlich, bei der die Innenwand ein gutes Oberflächenfinish aufweist. Außerdem hat der Bohrvorgang nicht zur Bildung von Rissen im Material geführt. Die Probe scheint fehlerfrei zu sein, nur eine Blase geringer Größe ist auf der Oberfläche sichtbar, die wahrscheinlich bereits vor der Bearbeitung vorhanden war und nicht mit dem Bohrprozess verbunden ist. In einer frühen Studie [14] wurde berichtet, dass

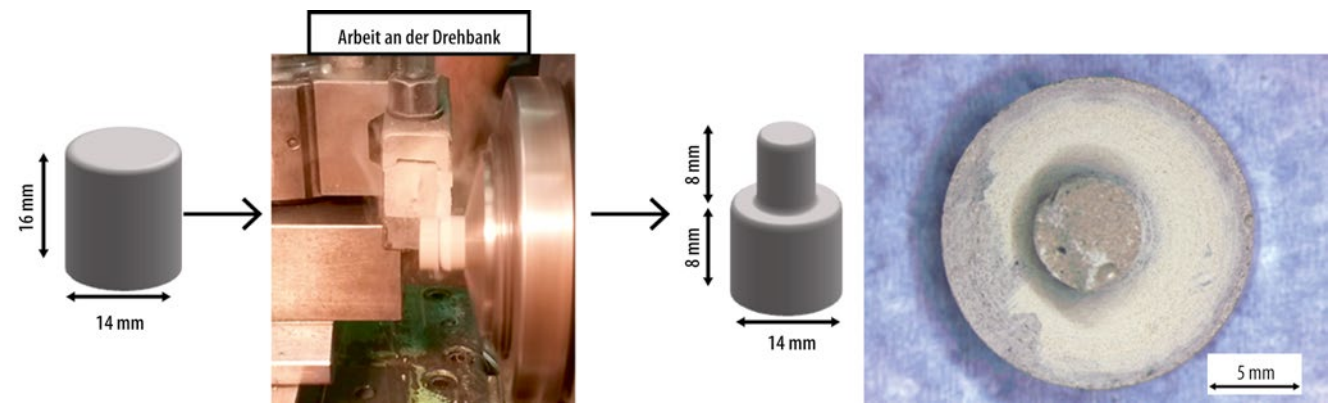

Bild 2 Beispiel einer auf der Drehmaschine hergestellten Geopolymerprobe (© Lehrstuhl für Biomaterialien, Universität Erlangen-Nürnberg)

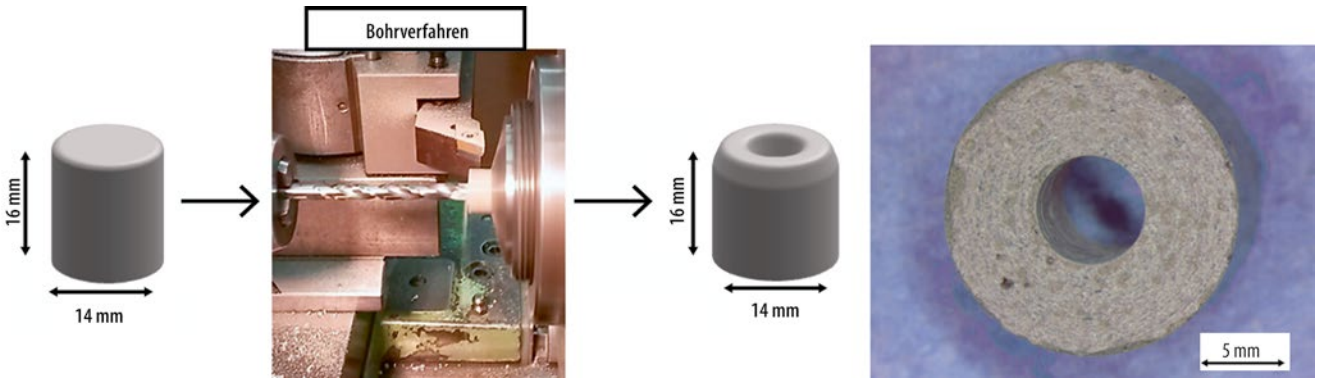

Bild 3 Beispiel einer mit einem Metallwerkzeug gebohrten Geopolymerprobe (© Lehrstuhl für Biomaterialien, Universität Erlangen-Nürnberg)

zum Erreichen einer guten Zerspanbarkeit in der Keramik eine geringe Sprödigkeit erforderlich ist, was einen Kompromiss zwischen Härte und Bruchzähigkeit bedeutet. Ein solches Verhältnis von Härte zu Zähigkeit scheint bei den vorliegenden Geopolymerproben, aufgrund ihrer hervorragenden Zerspanbarkeit, vorzuliegen. Diese Ergebnisse, wenn auch qualitativ, deuten auf eine größere Vielseitigkeit und zahlreiche Möglichkeiten für industrielle Anwendungen von Geopolymerwerkstoffen als Komponenten mit komplexer Formgebung hin.

4. Schlussfolgerungen

In dieser Studie wurde die Möglichkeit des direkten Tintendrucks und der Verarbeitung von abfallbasierten Geopolymeren untersucht. Die Experimente zeigten, dass Geopolymer auf Flugaschebasis mit Altglas in 3D gedruckt werden kann, um poröse gitterartige Strukturen zu erhalten. Dieser Proof-of-Concept-Test bestätigte die Eignung der Geopolymertinte mit begrenzten Einbrüchen und Strukturfehlern. Zukünftige Arbeiten sollten durchgeführt werden, um die Verarbeitungsparameter mit den rheologischen Eigenschaften der Tinte zu verknüpfen, um spezifische 3D-Konstruktionsformen mit hoher Genauigkeit zu erreichen.

Geopolymere wurden erfolgreich mit einer Drehmaschine bearbeitet und mit Standardwerkzeugen aus Metall gebohrt, um verschiedene Formen mit guter Oberflächenqualität und Maßhaltigkeit zu erhalten. Dieses erste Experiment seiner Art zeigte die gute Zerspanbarkeit des Geopolymermaterials. Dank einer präzisen Konstruktion und der Fähigkeit, komplexe Formen herzustellen, könnte sich das Anwendungsspektrum von Geopolymeren erweitern, insbesondere im Bereich der spröden Materialien, bei denen die Bearbeitung ein anspruchsvoller und kostenintensiver Prozess ist. Geopolymere bieten die Möglichkeit, gute mechanische Eigenschaften, umweltfreundliche Produktion und die Möglichkeit, alternative Form- und Verarbeitungstechniken zur Herstellung komplex geformter Teile zu kombinieren. Anwendungen im Maschinenbau oder in anderen Branchen, die konstruierte Komponenten mit einer bestimmten strukturellen Integrität erfordern, können berücksichtigt werden.

Literaturhinweise

[1] Davidovits, J.: Geopolymer chemistry and applications. 4. ed., Davidovits, Joseph, Saint-Quentin Frankreich, (2015). ISBN: 9782951482098

[2] Lloyd, N., Rangan, V.: Geopolymer concrete with fly ash. Proc. 2. Inter. Conf. on Sustainable Construction Materials and Technologies 2010, Ancona, Italien, 1493–1504

[3] Toniolo, N., Boccaccini, A.R.: Fly ash-based geopolymers containing added silicate waste. A review. Ceram. Int. 43 (2017) 14545–14551

[4] Duxson, P., Fernández-Jiménez, A., Provis, J.L., Lukey, G.C., Palomo, A., van Deventer, J.S.: Geopolymer technology: The current state of the art. J. Mater. Sci. 42 (2007) 2917–2933

[5] Van Jaarsveld, J., Van Deventer, J. and Lorenzen, L.: The potential use of geopolymeric materials to immobilise toxic metals: Part I. Theory and applications. Minerals Eng. 10 (1997) 659–669

[6] Buchwald, A., Dombrowski-Daube, K., Weil, M: Developments in porous, biological and geopolymer ceramics. Ceram. Eng. Sci. Proc. 28 (2009) [9] 57–65

[7] Zhuang, V., Chen, L., Komarneni, S. et al.: Fly ash-based geopolymer: clean production, properties and applications. J. Clean. Prod. 125 (2016) 253–267

[8] Aguirre-Guerrero, A.M. Robayo-Salazar, R.A., de Gutiérrez, R.M.: A novel geopolymer application: Coatings to protect reinforced concrete against corrosion. Appl. Clay. Sci. 135 (2017) 437–446

[9] Haddad, M.A., Ofer-Rozovsky, E., Bar-Nes, G. et al.: Formation of zeolites in metakaolin-based geopolymers and their potential application for Cs immobilization. J. Nucl. Mater. 493 (2017) 168–179

[10] Franchin, G., Scanferla, P., Zeffiro, L. et al.: Direct ink writing of geopolymeric inks. J. Eur. Ceram. Soc. 37 (2017) 2481–2489

[11] Xia, M., Sanjayan, J.: Method of formulating geopolymer for 3D printing for construction applications. Mater Des. 110 (2016) 382–390

[12] C. ASTM, 618-03. Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in Portland cement concrete (2003)

[13] Zehnder, T., Freund, T., Demir, M., Detsch, R., Boccaccini, A.R.: Fabrication of Cell-Loaded Two-Phase 3D Constructs for Tissue Engineering. Materials 9 (2016) 887

[14] Boccaccini, A.: Machinability and brittleness of glass-ceramics. J. Mater. Process. Technol. 65 (1997) 302–304

Danke

Die zu diesen Ergebnissen führende Forschungsaktivitäten wurden im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramms Horizon 2020 der Europäischen Union im Rahmen der Marie Sklodowska-Curie-Maßnahmen Nr. 642557 gefördert.

1 Lehrstuhl für Biomaterialien, Department Werkstoffwissenschaften, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 91058 Erlangen, Deutschland

2 Lehrstuhl für Polymerwerkstoffe, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Martenstraße 7, 91058 Erlangen, Deutschland

Connecting Global Competence

Messe München

Ceramics as a gamechanger for industrial applications

Unter diesem Motto startet die ceramitec ein neues Format in 2019: die ceramitec conference. Die ceramitec conference thematisiert den Bedarf an aktuellen und zukünftigen keramischen Lösungen in den folgenden Anwendungsbranchen:

- Automotive
- Luft- und Raumfahrt
- Elektrotechnik
- Gesundheit
- Pharma & Chemie
- Medizintechnik

Werden Sie Referent oder Aussteller auf der ceramitec conference und präsentieren Sie Ihre innovativen Lösungen über 300 Entscheidungsträgern dieser Branchen.

Reichen Sie jetzt Ihr Abstract ein und werden Sie Referent!
www.ceramitec.com/conference/call-for-papers/de

ceramitec conference

19.–20. September 2019 · Messe München
ceramitec.com/conference