

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
04. Mai 2023 (04.05.2023)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2023/070140 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B28B 1/00 (2006.01) C04B 28/30 (2006.01)  
B33Y 30/00 (2015.01) C04B 28/32 (2006.01)  
C04B 28/00 (2006.01) B33Y 10/00 (2015.01)  
C04B 28/02 (2006.01) B22C 1/18 (2006.01)  
C04B 28/14 (2006.01) B22C 3/00 (2006.01)

GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2022/060370

(22) Internationales Anmeldedatum:  
25. Oktober 2022 (25.10.2022)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
A 50851/2021 27. Oktober 2021 (27.10.2021) AT

(72) Erfinder; und

(71) Anmelder: BREITENBERGER, Georg [AT/AT]; Speckbacherstraße 39, 6020 Innsbruck (AT).

(74) Anwalt: SCHWARZ & PARTNER PATENTANWÄLTE GMBH et al.; Wipplingerstrasse 30, 1010 Wien (AT).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH,

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING AN ADDITIVELY MANUFACTURED AND COATED CASTING MOULD FOR THE PRODUCTION OF COMPONENTS IN A COLD CASTING PROCESS OR LAMINATION PROCESS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON EINER ADDITIV GEFERTIGTEN UND BESCHICHTETEN GUSSFORM FÜR DIE HERSTELLUNG VON BAUTEILEN IM KALTGUSSVERFAHREN ODER LAMINIERVERFAHREN

(57) Abstract: The invention relates to a method for producing an additively manufactured casting mould for the production of components in a cold casting process or lamination process, comprising the following steps: a) defining a three-dimensional structure of the casting mould; b) providing a mixture, said mixture comprising binding agent and aggregate; c) providing a hydraulic fluid comprising an aqueous solution of magnesium chloride or magnesium sulfate; d) depositing a layer of the mixture on a substrate; e) applying the hydraulic fluid only to those parts of the mixture which are to form part of the casting mould; f) applying a further layer of the mixture to the preceding layer of the mixture; g) applying the hydraulic fluid only to those parts of the mixture which are to form part of the casting mould; h) repeating steps f) and g) until the desired shape of the casting mould is achieved; i) leaving those parts of the mixture which have been mixed with the aqueous solution of magnesium chloride or magnesium sulfate to set; j) removing the mixture which has not been mixed with aqueous solution, and coating at least those parts of the casting mould which come into contact with the material of the cold casting-lamination method with a form lining.

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Herstellung einer additiv gefertigten Gussform für die Herstellung von Bauteilen im Kaltgussverfahren oder Laminierverfahren, umfassend die Schritte a) Festlegen einer dreidimensionalen Struktur der Gussform, b) Bereitstellen einer Mischung, wobei die Mischung Bindemittel und Zuschlagstoff umfasst, c) Bereitstellen einer Druckflüssigkeit, umfassend eine wässrige Lösung von Magnesiumchlorid oder Magnesiumsulfat, d) Aufbringen einer Lage der Mischung auf einen Träger, e) Aufträgen der Druckflüssigkeit nur auf jene Teile der Mischung, die Teil der Gussform bilden sollen, f) Aufträgen einer weiteren Lage der Mischung auf die vorherige Lage der Mischung, g) Aufträgen der Druckflüssigkeit nur auf jene Teile der Mischung, die Teil der Gussform bilden sollen, h) Wiederholen der Schritte f) und g) bis die gewünschte Form der Gussform erreicht ist, i) Abbinden lassen jener Teile der Mischung, die mit der wässrigen Lösung von Magnesiumchlorid oder Magnesiumsulfat versetzt wurden, j) Entfernen der nicht mit wässriger Lösung versetzten Mischung, und Beschichten zumindest jener Teile der Gussform, welche mit dem Material des Kaltguss-Laminierverfahrens in Kontakt kommen, mit einer Schalhaut.



WO 2023/070140 A1

VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON EINER ADDITIV GEFERTIGTEN UND  
BESCHICHTETEN GUSSFORM FÜR DIE HERSTELLUNG VON BAUTEILEN IM  
KALTGUSSVERFAHREN ODER LAMINIERVERFAHREN

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer additiv gefertigten Gussform für die Herstellung von komplexen Bauteilen im Kaltgussverfahren oder Laminierverfahren.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

- 10 Computergestützte Methoden ermöglichen Architekten und Ingenieuren das Entwerfen komplexer Bauteile aus z.B. Beton mit hoher geometrischer Komplexität. Die praktische Umsetzung dieser Entwürfe in die Realität scheitert häufig an den hohen Fertigungskosten oder der Unmöglichkeit der Herstellung mit konventionellen Fertigungsmethoden und Werkzeugen.
- 15 Die additive Fertigung erlaubt die Herstellung aufwändiger Bauteile aus Baumaterialien wie z.B. Beton, indem das formgebende Bauteil – nachfolgend die Gussform oder gelegentlich die Schalung – additiv angefertigt wird anstatt spanend mit einer CNC gesteuerten Fräse oder in Handarbeit aus Holz oder aus Kunststoffen.
- 20 Der Einsatz der additiven Fertigung im Formenbau ist allgemein bekannt. So werden mit 3D-Druckern im Binder Jetting Verfahren Gussformen aus Sand für Gießereien gefertigt, um komplexe Maschinenbauteile zu fertigen. WO 2011/021080 A2 beschreibt z.B. ein Binder Jetting Verfahren in der Bauindustrie.
- 25 Es gibt diverse additive Verfahren, die dabei eingesetzt werden können. Am vorteilhaftesten zur Herstellung solcher Formen, haben sich pulverbettbasierte Verfahren (Binder Jetting) und Verfahren, die auf Extrusion basieren erwiesen. EP 3 174 651 B1 der Voxeljet AG beschreibt die Herstellung einer solchen Gussform anhand eines pulverbettbasierten Verfahrens, welches auch unter dem Begriff Binder Jetting bekannt ist. Dabei wird pulverförmiges
- 30 Ausgangsmaterial an ausgewählten Stellen mit einem Bindemittel – dem „Binder“ – verklebt. Bei diesem Verfahren werden die Werkstücke schichtweise aufgebaut, indem aus 3D-Daten (z.B. CAD-Daten) die zu erzeugende Geometrie jeder einzelnen Schicht berechnet wird. Anschließend wird auf einen höhenverstellbaren Tisch eine Pulver- oder Granulat-Schicht

aufgebracht und mit dem Binder mittels eines Druckkopfs an den Stellen verklebt, die zum Werkstück zählen. Anschließend wird der Tisch um eine Schichtdicke abgesenkt und eine neue Pulverschicht aufgebracht. Dies wird so lange wiederholt, bis das Werkstück vollständig entstanden ist, das dann komplett vom umgebenden Pulver verborgen ist. Danach wird das überständige Pulver zur Weiterverwendung zurückgeführt, das Werkstück aus dem Drucker geholt und von Pulverresten befreit. Auf diese Weise ist es auch möglich Gussformen für die Bauindustrie herzustellen.

In EP 3 174 651 B1 wird beschrieben, dass diese Gussformen aus Sand, der mit einer Aktivatorkomponente vorbeschichtet wird, und mit Kunstharz, meistens Phenolharz, selektiv gebunden wird, indem die Aktivatorkomponente und das Kunstharz ein Polymer bilden. Die daraus entstehende Gussform weist Poren auf und sie wird daher, um als Schalung im Bauwesen Verwendung zu finden, durch eine Schlichte und dann durch eine Versiegelung auf Kunststoffbasis wie PU, Epoxidharz, Polyester usw. geglättet. Dieser mehrstufige Prozess, der aus dem Drucken der Schalung, dem Befreien der Schalung von losem Partikelmaterial, dem Aufbringen der Schlichte, um die Poren zu schließen, damit die Versiegelung durch den Betondruck nicht in die Poren gedrückt wird, sowie dem Aufbringen der Versiegelung selbst besteht, ist sehr aufwändig. Zudem müssen gewisse Standzeiten und Ruhezeiten zwischen den Prozessschritten eingehalten werden. Durch die Verwendung von teuren Kunstharzen als Bindemittel und einer Kunststoffbeschichtung als Versiegelung sind die schweren Schalungen aus Sand nach ihrem Gebrauch Sondermüll und müssen aufwändig und kostspielig entsorgt werden. Da Sand der Hauptbestandteil der Gussform ist, hat diese eine sehr hohes Gewicht und ist somit schwer in der Handhabung. Besondere Hebevorrichtungen sind daher für das Anschlagen, Heben, Bewegen und Absetzen erforderlich.

Andere Dokumente im Stand der Technik sind z.B. DE 10 2017 009 742 A1, worin eine durch Wasser lösliche Form, welche durch ein pulverbasiertes Schichtbauverfahren hergestellt wird, beschrieben wird. Das Verfahren ist dabei dem in EP 3 174 651 B1 beschriebenen Verfahren ähnlich, allerdings wird als Bindemittel ein wasserlöslicher Kunststoff eingesetzt. Als wasserunlösliche Komponente wird wiederum z.B. Quarzsand verwendet. Dieses Verfahren wird vorzugsweise bei komplexen Geometrien mit Hinterschneidungen eingesetzt. Der Einsatz dieses Bindemittels macht es möglich, Bauteile mit einer Festigkeit von 0,8-1,5 N/mm<sup>2</sup> herzustellen. Eine nachträgliche Ofenbehandlung kann die Festigkeit auf > 2 N/mm<sup>2</sup> erhöhen. Durch den Einsatz von kostenintensiven Bindern auf Kunststoffbasis und Sand als

Partikelmaterial mit hohem Eigengewicht und aufgrund der geringen Festigkeit der Formen ist auch dieses Verfahren nicht wirtschaftlich. Zudem sind noch lange Standzeiten und Ofenbehandlungen erforderlich. Der Sand kann nach dem Auflösen des Binders zwar wiederverwendet werden, muss jedoch zuerst vollkommen vom Binder und Schmutz befreit und dann getrocknet werden. Das im Wasser gelöste Bindemittel muss eigens entsorgt werden.

In DE 10 2016 119 365 A1 wird ein aus Kunststoffen gedrucktes, modulares Schalungssystem beschrieben, bei dem zumindest die dem Beton zugewandte Oberfläche aus einem schichtweisen aufgetragenen und ausgehärteten Kunststoff besteht. Die modularen Einzelformen bestehen aus einem wiederverwertbaren Grundträger und einem lösbaren, recycelbaren Kunststoff, der auch wasserlöslich sein kann. Die Schalungen werden in einem Extrusionsverfahren aus Kunststofffilament gefertigt, welches aufgrund der beschränkten Anzahl der Druckköpfe ein langwierig ist, um Formkörper mit einem großen Volumen herzustellen. Zudem hinterlässt das Arbeiten im Extrusionsverfahren eine gerillte Oberfläche, die nur mit erheblichem Aufwand zu glätten ist oder man druckt in einer so geringen Schichtdicke, dass die Fertigung noch langsamer von statten geht. Der Einsatz von Kunststoffen zur Fertigung voluminöser Bauteile ist mit hohen Kosten verbunden, da das Recycling die Entfernung von Verunreinigungen, wie Schalölen, Betonresten, Zementschlämmen, Staubpartikeln usw. erfordert. Durch die wiederverwendbaren Grundträger ist man im Formenbau an die Vorgaben aus den Grundträgern gebunden, was als eine Einschränkung in der Fertigung gesehen werden kann und im Widerspruch zu dem Grundprinzip der additiven Fertigung, der totalen Formfreiheit in jedem Bauteil steht.

EP 2 961 581 B1 beschreibt die Herstellung einer additiv gefertigten, porösen, wasserlöslichen Gussform aus verschiedenen Materialien. Die Form wird nach Gebrauch in einem temperierten Wasserbad oder Autoklaven aufgelöst und die wasserundurchlässige Schalhaut wird vom gegossenen Bauteil abgewaschen. Nachteile dieses Verfahren sind seine Unwirtschaftlichkeit. Jede Schalung kann nur einmal verwendet werden. Zudem sind große Wassermengen erforderlich, um die Schalung aufzulösen. Das Wasser muss nach dem Einsatz aufbereitet werden und die darin gelösten Stoffe müssen herausgefiltert werden.

US 2015/315399 A1 beschreibt eine Pulvermischung aus einem löslichen Klebstoff, der aus einem Zement besteht, der Magnesiumoxid und ein Säureadditiv enthält. Zudem enthält die Mischung einen nicht reaktiven keramischen Füller. Das Säureadditiv wird dem Pulver

beigegeben, das Pulver ist so jederzeit reaktiv und es kann aufgrund der Luftfeuchtigkeit zur Klumpenbildung und zur Reaktion kommen. Die Druckflüssigkeit besteht aus bis zu 50% aus einem Lösungsmittel und einem sauren Additiv.

5 US 2011/7177188 A1 beschreibt eine Pulvermischung für das 3D-Druck Binder Jetting erfahrung, um damit 3D gedruckte Formen für den Eisenguss herzustellen. Die Pulvermischung besteht aus einem Bindemittel, Sand und einem Beschleuniger. Als Bindemittel wird Zement, vorzugsweise Portlandzement oder Puzzolanzement oder Flugasche verwendet. Der Zement selbst kann Kalk und alkalische Oxide enthalten. Die reaktiven alkalischen Oxide sind:  
10 Calciumoxid, Magnesiumoxid oder Zinkoxid. Als Beschleuniger ist ein lösliches Silikat, wie z.B. Wassergläser, vorhanden. Die Mischung von Portlandzement und Magnesiumoxid wird kritisch gesehen. Enthält der Zement zu viel Magnesiumoxid, kommt es zu Magnesiumtreiben und zur Zerstörung des erhärtenden Gefüges. Der Einsatz von Natriumwasserglas ist z.B. im Bauwesen verboten.

15

DE 3 506 555 A1 beschreibt die Herstellung von mörtelähnlichen Massen basierend auf Magnesiumoxid als Bindemittel und Magnesiumsulfat als Anreger. Als Zuschlagstoffe werden biologische Materialien wie Hackschnitzel aus Holz verwendet. Magnesiumoxid wurde bis in die 1950er Jahre zur Herstellung von Fußböden verwendet. Dabei wurden der Mischung  
20 Hackschnitzel, Sägemehl usw. beigemischt, sodass der Boden ein Fußwarmes Gefühl bewirkt. Durch die Anregung mit Hilfe von Magnesiumsulfat erhoffte man sich eine bessere Wasserbeständigkeit.

DE 2 922 815 A1 befasst sich mit der Idee, die Wasserbeständigkeit von Magnesiumoxid zu  
25 verbessern, indem Ethylsilicat beigefügt wird.

CN 110342898 A beschreibt die Verwendung von Magnesiumoxid und Magnesiumsulfat als Bindemittel für den 3D-Druck. Als Zuschlagstoffe werden Talkumpuder und Dolomitpulver verwendet. Talkum und Dolomit werden in der Literatur als Zuschläge beschrieben, die gut mit  
30 MgO kombinierbar sind.

## KURZBESCHREIBUNG DER ERFINDUNG:

Die aus dem Stand der Technik bekannten Nachteile machen den Einsatz von additiv gefertigten Gussformen in z.B. der Bauindustrie oder Bootsbau nicht praktikabel, da derartige Gussformen entweder aufgrund der komplexen Herstellung unwirtschaftlich sind oder aufgrund des großen Massen Probleme bereiten. Außerdem sind die Gussformen im Stand der Technik meist nur einmal einsetzbar und sie müssen anschließend unter großem Kostenaufwand entsorgt werden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Herstellung einer Gussform sowie eine Gussform selbst bereitzustellen, wo diese Nachteile vermindert sind.

Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Verfahren zur Herstellung einer additiv gefertigten Gussform für die Herstellung von Bauteilen im Kaltgussverfahren oder Laminierverfahren, umfassend die Schritte

- 15 a) Festlegen einer dreidimensionalen Struktur der Gussform,
- b) Bereitstellen einer Mischung, wobei die Mischung pulverförmiges Bindemittel und pulverförmigen Zuschlagstoff umfasst,
- c) Bereitstellen einer Druckflüssigkeit, umfassend eine wässrige Lösung von Magnesiumchlorid oder Magnesiumsulfat,
- 20 d) Aufbringen einer Lage der Mischung auf einen Träger,
- e) Auftragen der Druckflüssigkeit nur auf jene Teile der Mischung, die einen Teil der Gussform bilden sollen,
- f) Auftragen einer weiteren Lage der Mischung auf die vorherige Lage der Mischung,
- g) Auftragen der Druckflüssigkeit nur auf jene Teile der Mischung, die einen Teil der Gussform bilden sollen,
- 25 h) Wiederholen der Schritte f) und g) bis die gewünschte Form der Gussform erreicht ist,
- i) Abbinden lassen jener Teile der Mischung, die mit der wässrigen Lösung von Magnesiumchlorid oder Magnesiumsulfat versetzt wurden,
- j) Entfernen der nicht mit wässriger Lösung versetzten Mischung, und
- 30 k) Beschichten zumindest jener Teile der Gussform, welche mit Beton in Kontakt kommen, mit einer Schalhaut.

Bevor die Erfindung im Detail beschrieben wird, werden im Folgenden einige Begriffe der Erfindung näher erläutert.

5 **3D Druckverfahren** sind alle aus dem Stand der Technik bekannten anwendbaren Verfahren, die den Aufbau von Freiform Bauteilen ermöglichen. Die da z.B. wären Binder Jetting, Contour Crafting, Stereolithografie.

**Selektive Bindung** kann nach jedem Partikelmaterialauftrag erfolgen. Sie erfolgt dort wo es vom 3D-CAD-Modell vorgesehen ist.

10

**Partikelmaterial** ist jedes Material, das für den pulverbasierten 3D Druck geeignet ist.

**Partikelmaterialgemisch** ist im Sinne der Erfindung ein Materialgemisch aus mindestens zwei unterschiedlichen Materialien. Im Sinne der Erfindung sind dies ein Zuschlagstoff und einem Bindemittel besteht.

15

**Zuschlagstoff:** Alle Schüttgüter der Bauindustrie, vorzugsweise Leichtbaustoffe wie Blähperlit, Blähschiefer, Blähton usw.

20 **Bindemittel:** Alle für die Bauindustrie geeigneten Bindemittel wie Gips, Zement, Kalk, Magnesiumoxid, Magnesiumsulfat, Anhydrit, Silikate usw.

**Rekalzinieren:** nach seiner Verwendung und Aufbereitung wird das reagierte Bindemittel nochmals gebrannt und wird damit wieder reaktiv.

25

**Druckflüssigkeit:** Sie wird vom Druckkopf selektiv auf das Partikelmaterial aufgebracht und löst im Partikelmaterial eine Reaktion aus, bei der sich die Komponenten im Partikelmaterial verbinden und in ihrer Gesamtheit schließlich den Formkörper bilden.

30 Im vorliegenden Fall kommt vorzugsweise als Druckflüssigkeit eine Lösung aus Magnesiumchlorid  $MgCl_2$  zu Einsatz. Das Chlorid übernimmt die Funktion des Katalysators im Abbinde-Vorgang. Vorzugsweise wird eine konzentrierte Lösung eingesetzt, deren spezifisches Gewicht bei  $20^\circ C$   $1,25 \text{ kg/l}$  beträgt. Der Gehalt an  $MgCl_2$  sollte zumindest 25 Gew. % betragen. Um gute Festigkeiten zu erreichen, liegt das optimale Gewichtsverhältnis zwischen

MgO und MgCl<sub>2</sub>-Lösung zwischen 1 und 2, besonders bevorzugt bei 1,5. Das optimale Verhältnis zwischen den Reaktionspartnern wird durch Stöchiometrie  $MgCl_2/Mg = 1.5$  bestimmt, wobei im 3D-Druckprozess das Verhältnis gern ein wenig reduziert wird und zwischen 1 bis 1,5 liegt. Es kann auch Magnesiumsulfat verwendet werden, wobei die Massenverhältnisse entsprechend sind. MgCl<sub>2</sub> weist allerdings bessere Eigenschaften auf. Dies ist einerseits auf die hygroskopischen Eigenschaften von MgSO<sub>4</sub>, d.h. die Eigenschaft Wasser aus der Umgebung anzuziehen. Andererseits hat sich die Kombination von MgCl<sub>2</sub> in der Druckflüssigkeit und MgO als Bindemittel (siehe unten) für die vollständige Wiedergewinnung der Materialien als überragend gegenüber MgSO<sub>4</sub> erwiesen.

10

**Bauraum:** Ist der geometrische Raum, in dem das Partikelmaterialgemisch während des Bauprozesses durch wiederholtes Beschichten mit Partikelmaterial abgelegt wird und wo das Bauteil durch selektives Binden erzeugt wird. Der Bauraum umfasst einen Boden und 4 Wände, nach oben ist er offen.

15

**Porosität:** Sie beschreibt das Hohlraumvolumen zum Gesamtvolumen eines Stoffes oder Stoffgemisches. Im Formenbau ist eine zu hohe Porosität für die Festigkeit, und die Beschichtung nachteilig, vor allem bei Haufwerksporigen Gefügen.

20

**Beschichtung:** Wasserundurchlässige, hydrophobe Schicht, im Sinn der Erfindung auch beständig gegen hydraulische und nicht hydraulische Bindemittel und widerstandsfähig gegen UV -Strahlung und mechanische Einwirkungen. Sie bildet die Grenze zwischen additiv gefertigter Form und dem Werkstoff, der in die Form gegossen wird.

25

**Kaltgussverfahren** sind Gießverfahren, bei denen vor, während und nach dem Guss die Temperatur der Gussform und des Kernes, die Zersetzungs- oder Erweichungstemperatur des Formmaterials und der Beschichtung nicht erreicht wird z.B. gießen von Beton.

30

**Form, Schalung, Gussform:** Bezeichnet die additiv gefertigte Form, die beschichtet und in die der Werkstoff im Kaltgussverfahren gegossen wird.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass weiters ein Stellmittel zur Einstellung der Viskosität der Druckflüssigkeit vorgesehen ist. Als Stellmittel zur Einstellung der Viskosität kommt zum Beispiel Reismehl oder ein flüssiges Stellmittel verwendet. Zudem kann man die Lösung auf

einer konstanten Temperatur von 20 bis 25°C halten, da bei sinkenden Temperaturen Salz ausgefällt werden kann. Durch Stellmittel und Temperatur kann die dynamische Viskosität der Druckflüssigkeit je nach Düsendurchmesser und Erfordernissen in den Bereichen von 1 -1000 mPa s angepasst werden.

5

In einer Ausführungsvariante ist vorgesehen, dass die Mischung zusätzlich einen Füllstoff umfasst.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass die Mischung

- 10
- 10 bis 70 Gew.% Bindemittel,
  - 30 bis 90 Gew. % Zuschlagstoff,
  - 0,01 bis 3 Gew.% Füllstoff

aufweist.

- 15
- Das Bindemittel kann z.B. ausgewählt sein aus der Gruppe bestehend aus Calciumoxid, Zemente, Calciumsulfat, Magnesiumoxid, Magnesiumsulfat, Lehm- Ton, Trass, oder Mischungen daraus.

Besonders bevorzugt ist vorgesehen, dass das Bindemittel Magnesiumoxid umfasst.

20

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, wenn der Zuschlagstoff eine Dichte von 50 kg/m<sup>3</sup> bis 1 600 kg/m<sup>3</sup> aufweist. Geeignete Zuschlagstoffe, welche eine solche Dichte aufweisen, sind z.B. ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Blähton, Bläherlit, Blähglimmer, Blähglas, Blähschiefer, Bims, Holzspäne, Lavastein-Schaumlava, Kesselsand, gesinterte

25 Steinkohleflugasche oder Recycling- oder Abfallbaustoffe aus Gas-Porenbeton, Ziegelbaustoffe oder Mischungen daraus.

Der Zuschlagstoff kann unterschiedliche Korngrößen aufweisen. Vorzugsweise weist die Korngrößenverteilung einer Idealsieblinie  $A(d) = (d/d_{max})^q$  mit einem Korngemenge mit  $0,2 < q < 0,7$  auf.

30

In der Gleichung für die Idealsieblinie  $A(d) = (d/d_{max})^q$  bedeutet

A = Siebdurchgang in Massen % je Korngröße (Wert auf y-Achse auf Diagramm)

$d$  = Korndurchmesser zwischen 0 und  $D$ , für den der prozentuelle Anteil im Korngemisch berechnet werden soll

$D$  = Durchmesser des Größtkorns der zu berechnenden Sieblinie.

$q$  = Exponent zur Berücksichtigung der Kornform. Bei idealer Kugelform:  $q = 0,5$ ; bei Kiessand:

5  $q = 0,4$  bei gebrochenen Natursand:  $q = 0,25$ .

Mit dieser Formel lässt sich die dichteste Packung der Körner berechnen und man erhält die Massenanteile je Korngröße die man dem Trockengemisch zumengen sollte. Je mehr die Kornform von der Kugelform abweicht, umso feiner muss die Gesteinskörnung sein und umso größer wird der Anteil von MgO in der Mischung, da nicht kugelförmige Körnungen eine  
10 größere Oberfläche haben, die gebunden werden muss.

So kann eine Schlichte bzw. Porenfüllung vermieden werden, wodurch ein Arbeitsschritt und eine Trocknung weniger erforderlich sind, sodass ein Zeitgewinn möglich ist.

15 Der Füllstoff ist vorzugsweise ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Mehlkorn, Methylcellulose, Bentonit oder Kombinationen daraus. Die Aufgabe des Füllstoffs ist es, die auf die Mischung aufgebrauchte Druckflüssigkeit im Partikelbett zu fixieren.

Zusatzstoffe sind pulverförmige Stoffe die die Eigenschaft des Trockengemisches beeinflussen.

20 Vorzugsweise werden folgende Zusatzstoffe verwendet:

(a) Methylcellulose und/oder Bentonit: Verbessern das Flüssigkeitsrückhaltevermögen der Trockenmischung. Wenn auf die Mischung Druckflüssigkeit gespritzt wird, fixieren diese Zusatzstoffe die Flüssigkeit lokal am Punkt der Flüssigkeitsabgabe im Pulverbett. Durch die Zugabe von Methylcellulose oder Bentonit bleibt die Flüssigkeit im Korngerüst an der Stelle,  
25 an der sie abgegeben wurde und wandert nicht schwerkraftbedingt durch die Pulverschichten, was zu sogenannten Elefantenfüßen in den Bauteilen führt. Somit wird die Herstellung von formtreuen Bauteilen mit hoher Genauigkeit möglich. Zugabemenge: 0,01-3% Volumenprozent.

(b) Als Mehlkorn werden Körnungen bis 0,125 mm bezeichnet. Das Mehlkorn ist vorteilhaft,  
30 um kleine Hohlräume zu schließen und so die Festigkeit der Gussform zu erhöhen. Zudem begünstigt es die Förderung des Trockenmörtels durch die Schläuche der pneumatischen Förderung und fördert das Rieseln des Trockenmörtels. Als Mehlkörner können feinste Gesteinskörnungen eingesetzt werden. Die Mehlkörner schließen die Poren und somit muss keine Schlichte oder Spachtelung wie beim Stand der Technik verwendet werden.

Zugabemenge bis zu 3 % Volumenprozent. Vorzugsweise wird hierbei Quarzmehl verwendet, da es sich sehr gut als Füller eignet und der 3D gedruckten Form eine geschlossene, harte Oberfläche verleiht, die aufgrund der Feinheit des Quarzmehles sich dennoch bearbeiten lässt. Die Schalhaut haftet auf Formbauteilen die mit einem kleinen Zusatz von Quarzmehl hergestellt wurden besser und ist widerstandsfähiger aufgrund des härteren Untergrundes.

(c) Reaktive Füllstoffe, z.B. Puzzolane. Puzzolane sind Kieselsäure- oder Tonerdehaltige Stoffe, die alkalisch reagieren können, z.B. durch die Zugabe von Wasser, Magnesiumchlorid, Lauge, Wasserglas usw. Solche reaktiven Füllstoffe oder Zusatzstoffe sind:

(i) Flugasche: Unter Flugasche versteht man kieselsäure- oder kalkreiche, staubartige Verbrennungsrückstände von Kohlenstaub, die bei der Reinigung der Rauchgase von Dampferzeugern in Kohlekraftwerken anfallen. Flugasche besteht aus kugeligen Partikeln mit puzzolanischen Eigenschaften, welche einige Vorteile haben. Die Vorteile sind verbesserte Verdichtungsfähigkeit des Partikelmaterials beim Auftragen und Festwalzen. Bessere Nachhärtung, höhere Endfestigkeit, dichteres Gefüge und verminderte Rissneigung. Flugasche verbessert die Kornverteilung der Partikelmaterialmischung im Feinstkornbereich und im Zusammenhang mit der überwiegend kugeligen Kornform (Kugellager-Effekt) die Verarbeitbarkeit und Rieselfähigkeit des Partikelmaterials. Mit Hilfe der Flugasche können somit kleinste Poren in der Partikelmaterialmischung besser gefüllt werden, was zu einem dichteren Gefüge des Endbauteils und somit größeren Festigkeitskennwerten führt. Flugasche besteht überwiegend aus reaktionsfähigem  $\text{SiO}_2$  und Aluminiumoxid  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und geringen Anteilen anderer Oxide, die alkalisch angeregt werden können. Die in der Flugasche enthaltene Kieselsäure ist amorph und dem Glaszustand ähnlich. Die einzelnen  $\text{SiO}_2$ -Moleküle sind dadurch in der Lage, mit Säuren und Laugen zu reagieren. Das bei der Reaktion entstehende Magnesiumhydroxid  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  regt die Flugasche zu einer Reaktion an wodurch eine zweite geopolymerische Struktur entsteht. Dadurch kann der hohe Porenanteil im 3D Gedruckten Gefüge weiter reduziert werden.

Als Nebenprodukt der Energieerzeugung hat die Flugasche eine hervorragende  $\text{CO}_2$ -Bilanz und hilft natürliche Ressourcen zu schonen, da energieaufwändigere Bindemittel ersetzt werden können. Dabei bleibt die Recyclingfähigkeit und Rekalzinierbarkeit des MgO erhalten. Als Komponente in der Partikelmaterialmischung kann Flugasche zwischen 3-45% des preislich teureren MgO ersetzen und die Partikelmaterialmischung günstiger machen.

(ii) Microsilica, Silicastaub: Ist ein künstliches Puzzolan mit hohem Anteil an Kieselsäure (Siliciumdioxid  $\text{SiO}_2$ ). Es ist ein glasartiges amorphes Siliciumdioxid. Silikastaub fällt als Nebenprodukt in der Herstellung von Silicium- und Ferrosilicium-Legierungen an. Die im Silikastaub enthaltenen Partikel sind kugelförmig und mit ihrer Teilchengröße von 0,1 bis 0,2  $\mu\text{m}$  um 50- bis 100-mal feiner als Zementpartikel. Ihre spezifische Oberfläche soll nach Norm einen Wert von 15 bis 35  $\text{m}^2/\text{g}$  annehmen. Somit ist Microsilica extrem feinkörniger mineralischer Stoff. Die chemische Zusammensetzung des Silicastaubs kann weit variieren. Im Allgemeinen liegt der Siliciumdioxidgehalt zwischen 80 Gew.-% und 98 Gew.-%. Die hohe Feinheit bedingt die stark ausgeprägte Hohlraumfüllende Wirkung und puzzolanische Wirkung von Silicastaub. Zudem verbessert Silikastaub den Verbund in der Kontaktzone zwischen Magnesiumoxid und Gesteinskörnung bzw. Fasern. Zudem wird die Packungsdichte erhöht. Dadurch können die durch Zugabe von Microsilica die Festigkeitseigenschaften verbessert werden. Die Zugabemenge zur Mischung liegt dabei zwischen 1 und 20% vom MgO Anteil. Durch die Mahlfeinheit ist das Microsilica sehr reaktiv und reagiert mit dem Magnesiumhydroxid  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Durch die hohe spezifische Oberfläche kommt es zu einer Kontaktflächenreaktion, daraus ergibt sich einer Reduzierung der Kapillarporen.

(iii) Weitere Zusatzstoffe können fein gemahlenes Ziegelmehl, Metakaolin oder Kalzinierter Ton sein. Vorzugsweise wird ein Gemisch aus Flugasche und Microsilica verwendet. Dadurch können die Materialeigenschaften einer 3D-gedruckten Form verbessert werden. Die Form wird dadurch sehr widerstandsfähig und konnte in Versuchen bis zu 40-mal wiederverwendet werden.

Die Druckflüssigkeit weist bevorzugt eine Magnesiumchloridkonzentration von zumindest 30 Gew.%, vorzugsweise von 45 bis 55 Gew.% auf.

Die Schalhaut kann z.B. Duroplasten, vorzugsweise Polyurethan oder Epoxidharz, ungesättigte Polyesterharz oder Phenoplasten umfassen.

Es hat sich gezeigt, dass Mischung aus Bindemittel und Zuschlagstoff aus einer benutzten Gussform gewonnen werden kann, womit eine vollständige Wiedergewinnung möglich ist. Insbesondere kann die Gussform zuvor nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt sein. Von der benutzten Gussform wird zuerst die Schalhaut entfernt und anschließend wird die

Gussform ohne Schalhaut zerkleinert, das Partikelmaterial getrennt und das Bindemittel rekalkiniert.

Das gesamte Verfahren wird bevorzugt in einem 3D-Drucker durchgeführt.

5

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

Um ein wirtschaftliches Produzieren einer additiv gefertigten Gussform zu ermöglichen, ist ein günstiges, wiederverwendbares Partikelmaterial erforderlich, welches sich gut fördern und in Schichten hoher Dichte auf das Druckbett aufbringen lässt, ohne im Bauteil große Porenräume zu verursachen. Zudem sollte das Partikelmaterial ein Leichtbaumaterial sein, um die fertigen Formen leichter heben, absetzen und transportieren zu können. Sind die Formen sehr schwer verursacht das oft Probleme mit dem Handling der Formen. Zudem erfordert das hohe Eigengewicht der Formen eine höhere Festigkeit des Materials. Es ist für den weiteren Einsatz der Gussform von Vorteil und kostenreduzierend, wenn die additiv gefertigte Gussform ein geringes Eigengewicht hat.

15

Weiters ist eine Partikelmaterialmischung vorteilhaft, die bei größeren Schichtdicken von der Druckflüssigkeit des Druckkopfes penetriert werden kann. Dies hat den Vorteil, dass die Gussform in Lagendicken zwischen 0,5 mm und 5 mm gefertigt werden kann und die Fertigungszeit sich somit erheblich reduziert. Jedoch muss die Flüssigkeit, welche durch den Druckkopf an jenen Orten, an denen die Mischung selektiv gebunden werden soll, durch die gesamte Schichtdicke hindurch penetrieren und sich, mit der in einem vorhergegangenen Prozessschritt gebunden Schicht, verbinden. Dies lässt sich leicht bewerkstelligen, indem man ein Partikelmaterial bestehend aus nur einer Korngröße wählt und somit ein Haufwerksporiges-Gefüge erzeugt.

20

25

Jedoch wirken sich diese Poren negativ auf die Festigkeitseigenschaften und auf die Weiterverarbeitung in den weiteren Prozessschritten aus, da weitere Prozessschritte nötig werden, um die großen Porenräume zu schließen (Schlichten im Stand der Technik). Zudem sollte die Oberfläche der Form und die Form selbst einfach, z.B. durch Schleif-Trennmaschinen bearbeitbar sein. Da der Stand der Technik offenbart, dass das Partikelmaterial einer solchen Form aus Sand, im allgemeinen Quarzsand einer bestimmten Korngröße besteht, dürfte es aufgrund der großen Härte die Quarzsand hat, schwer fallen eine solche Form aus Sand

30

nachzubearbeiten. Der Stand der Technik zeigt Gussformen für Kaltgussverfahren, die entweder selbst aus Kunststoff bestehen oder Gussformen bei welchen das Bindemittel vorzugsweise aus organischen Materialien, wie z.B. Furanharz besteht. Die Kosten für den Einsatz von organischen Bindemitteln sind wesentlich höher als der Einsatz anorganischer Bindemittel.

Schließlich wurden als wichtigste Eigenschaft der Materialmischung ihre Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit identifiziert. Ziel des erfinderischen Prozesses war es eine Materialmischung zu finden die in ihrer Anwendung wenig sensibel und durch einen einfachen, kurzen Prozessschritt aufbereitet werden kann. Nach der Aufbereitung kann das gesamte Material, aus dem die additiv gefertigte Form besteht, dem Produktionsprozess wieder vollständig rückgeführt werden, ohne dass Restmassen entstehen, die wie beim Stand der Technik teuer entsorgt werden müssen. Dies trifft auch den Zeitgeist der Nachhaltigkeit und der CO<sub>2</sub>-Reduzierung. Als anorganisches Bindemittel wird vorzugsweise Magnesiumoxid verwendet, das rekalkiniert also zurückgewonnen werden kann und somit eine Zero-Waste-Produktion vorliegt. Der Stand der Technik im Formenbau für Kaltgussverfahren produziert weitestgehend Sondermüll.

Somit galt es erfindungsgemäß eine Materialmischung zu finden, welche leicht im Gewicht ist und dennoch gute Festigkeitswerte erzielt, deren Komponenten für die Massenproduktion sehr günstig sind und vollständig recycelbar sind und sich, nach Verwendung, wieder in den Produktionsprozess rückführen lassen. Zudem sollte die Oberfläche der 3D gedruckten Form leicht bearbeitbar sein. Um diese Vorgaben zu erfüllen, sind Leichtbaumaterialien der Bauindustrie vorteilhaft, welche man in der Partikelmaterialmischung als Zuschlagsstoff verwendet. Diese Leichtbaumaterialien mit einer Dichte von 50 kg/m<sup>3</sup> bis 1400 kg/m<sup>3</sup> können sein: Blähton, Blähperlit, Blähglimmer, Blähglas, Blähschiefer, Bims, Holzspäne, Lavastein-Schaumlava, Kesselsand, gesinterte Steinkohleflugasche oder Recycling- oder Abfallbaustoffe aus Gas-Porenbeton, Ziegelbaustoffe, vorzugsweise aber Blähton, Blähperlit oder Blähglas. Diese Zuschlagstoffe haben einen natürlichen Ursprung oder sind durch einen Blähprozess vom Menschen aus natürlichen Rohstoffen wie Ton geschaffen. Gemeinsam haben diese Leichtzuschlagstoffe, dass sie in großen Mengen global verfügbar sind und, dass sie wesentlich preisgünstiger als organische Kunststoffverbindungen sind.

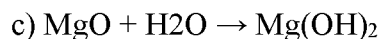
Um Haufwerksporige Strukturen zu vermeiden, werden diese Zuschlagstoffe in unterschiedlichen Korngrößen gemischt. Die optimale Korngrößenverteilung entspricht dabei der Idealsieblinie  $A(d) = (d/d_{\max})^q$  mit  $q=0,5$  welche nach Fuller und Thompson als günstige Korngrößenverteilung angesehen wird. Bei dieser Korngrößenverteilung ist der Hohlraumgehalt relativ gering, hohlraumärmste Korngemenge ergeben sich bei  $q=0,4$ , vorzugsweise werden Korngemenge mit  $0,2 < q < 0,7$  verwendet.

Die hohlraumärmste Korngrößenverteilung der Leichtzuschlagstoffe hat gegenüber dem Sand aus einer einzigen Korngröße (wie im Stand der Technik), den Vorteil so gut wie keine großen offen Poren zu haben, welche nachträglich, in einem weiteren Prozessschritt mit einer Schlichte usw. geschlossen werden müssen. Zudem erhöht die hohlraumarme Korngrößenverteilung die Festigkeit der Gussform gegenüber einer Haufwerksporigen Gussform aus Sand nur einer Korngröße. Der Mengenanteil der Zuschlagstoffe an der Gesamtmischung kann 30 – 90 Gew.% betragen. Als Bindemittel, um die Zuschlagstoffe zu binden, haben sich herkömmliche anorganische Bindemittel bewährt. Diese Bindemittel können sein Calciumoxid, Zemente, Calciumsulfat (Anhydrit), Calciumsulfat-Dihydrat (Gips), Magnesiumoxid, Magnesiumsulfat, Lehm- Ton, Trass, vorzugsweise aber Zement, Calciumsulfat- Dihydrat oder vorzugsweise Magnesiumoxid. Diese Bindemittel können einzeln oder kombiniert in der Mischung vorkommen. Ihr Anteil an der Gesamtmischung beträgt 10 – 70 Gew.%. Zuschlagstoff und Bindemittel werden vor dem Aufbringen des Druckbettes gemischt. Um eine möglichst geringen Hohlraumgehalt im Partikelmaterialgemisch zu haben wird dieses durch eine pneumatische Saugförderung in den Aufgabetrog gefördert und mit Hilfe von einer Rakel auf die Arbeitsebene-Druckebene vollflächig aufgezogen und dann mit einer nachlaufenden Walze verdichtet. Um das Wasserrückhaltevermögen des Partikelmaterials zu erhöhen und damit eine größere Formtreue des 3D-gedruckten Bauteils zu erreichen, kann dem Partikelmaterial ein Füllstoff wie Methylcellulose oder Bentonit zugegeben werden. Die Menge, die zugegeben wird, liegt dabei bei 0,01% – 3 Gew. % der Gesamtmenge des Partikelmaterials. Das Partikelmaterial bindet dadurch ab, dass an jenen Orten, wo das Bauteil aushärten soll, selektiv Wasser mit Magnesiumchlorid vom Druckkopf aufgetragen wird. Die Viskosität der Druckflüssigkeit kann mit einem Stellmittel (auch Verdickungsmittel) eingestellt werden. Nach einer Erhärungszeit von wenigen Stunden kann das erhärtete Bauteil vom losen, nicht abgebundenen Partikelmaterial befreit und gereinigt werden. Das Bauteil hat eine hohe Frühfestigkeit und kann somit unmittelbar dem nächsten Schritt in der Prozesskette, der

Beschichtung, zugeführt werden. In der Beschichtung wird die Schalhaut auf die additiv gefertigte Form aufgebracht.

Die Mischung aus Bindemittel und Zuschlagstoff in Verbindung mit der Druckflüssigkeit basiert auf dem Sorelzement, der ein Säure-Base-Zement ist. Als Säure dient dabei meistens Magnesiumchlorid und als Base in der Regel Magnesiumoxid (MgO, kaustisch gebrannter Magnesit), weshalb das Vorhandensein von MgO im Bindemittel vorteilhaft ist. Zwischen Magnesiumchlorid und Magnesiumoxid findet eine Reaktion statt, die je nach Mahlfeinheit und Brenndauer des Magnesiumoxids, zu einem Erhärten des Gemisches innerhalb weniger Minuten führen kann. Zur Formstabilität und der Verbesserung des Wasserrückhaltevermögens wird dem Trockengemisch Bentonit oder Methylcellulose beigegeben. Der dadurch entstandene natürliche Kleber bindet sich mit allen Materialien wie sämtlichen mineralischen Baumaterialien und Gesteinsmehle sehr gut, auch bindet er Holzmehl, Holzschnipsel, Stroh usw. besser als Zement oder Gips. Ein Vorteil des Magnesiumoxids ist, dass es rekalkiniert, also erneut gebrannt und zur erneuten Produktion von 3D-Gedruckten Formen verwendet werden kann.

In Pulverform erhärtet MgO in Gegenwart von konzentrierten Magnesiumchlorid- Lösung (MgCl<sub>2</sub>). Dabei bildet sich im MgO-MgCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O ein Gel, das an der Luft dann steinartig erhärtet. Bei Raumtemperatur laufen dabei folgende Reaktionen ab:



Die Erhärtung erfolgt durch die sich gegenseitig durchdringenden und verfilzenden feinen Kristallnadeln des entstehenden Magnesiumhydroxids. Die Erhärtung ist in wenigen Stunden abgeschlossen, was ein wesentlicher Vorteil für den Pulver-3D Druck ist. Maßgebend sind die 5-1-8 Phase und die 3-1-8 Phase. Es gibt noch weitere Phasen, diese spielen jedoch für die Praxis bei Raumtemperatur keine Rolle. Im Verlauf der Erhärtung des Abbindens scheiden sich aus der zunächst entstehenden, gallertartigen Masse nadelförmige Kristalle aus. Die Struktur der stabilen Hydratphase leitet sich von der des Magnesiumhydroxyds ab, welche aus Doppelketten besteht. Die Kettenverknüpfung ist der Grund für die hohe Festigkeit der Hydratphase. Das Magnesiumcarbonat entsteht durch Reaktion des gebildeten Magnesiumhydroxyds mit dem CO<sub>2</sub> in der Luft.

Beispielrezepturen für das Partikelmaterial (Verhältnis MgO und MgCl bleiben konstant):

Blähglas als Zuschlagstoff: (Blähglas ist aufgeblähtes Altglas)

Stoff	Gewichtsteile
Blähglas 0,25-0,5mm	9
Blähglas 0,1-0,3mm	2
Feinsand 0-0,125 mm	1
MgO	6
Methylcellulose	0,25
Flugasche und Microsilica	1

5 Blähton als Zuschlagstoff: (Blähton ist geblähter Ton)

Stoff	Gewichtsteile
Blähton 0,2-0,4mm	8
Blähton 0,1-0,2mm	3
Feinsand 0-0,125 mm	1
MgO	6
Methylcellulose	0,25
Flugasche und Microsilica	1,25

In Versuchsreihen wurden Vorteile des Magnesiabinders-Sorelzement gegenüber Portlandzement und anderen mineralischen Bindemitteln im 3D-Druck erkannt:

10

Es sind bei Leichtbauzuschlägen beachtliche Festigkeiten zu erzielen, die so mit Portlandzement nicht erzielbar sind.

Brandbeständigkeit.

Magnesiamente leiten weder Hitze noch Kälte, noch Elektrizität.

15

Es können mit dem Bindemittel MgO alle organischen und anorganischen Zuschlagstoffe sowie feinste Stäube zu Endprodukten mit tauglichen Festigkeiten gebunden werden. Mit Portlandzement ist das nicht möglich.

Rasche Erhärtung, was schnellere Durchlaufzeiten ermöglicht.

Formtreue und keine Rissentwicklung.

Geringe Anhaftungen des Trockenmörtels an das Bauteil beim Entpacken, was gegenüber Zement oder Gips die Nachbearbeitung des Bauteils wesentlich reduziert.

Die hohen Temperaturen die bei der Abbinde-Reaktion durch die große Masse einer Gussform mit  $10\text{m}^3$  entstehen, machen den Magnesiabinder weniger zu schaffen als den Portlandzement.

Niedrigere Brenntemperatur von Magnesiabinder, was zur Energieeinsparung und  $\text{CO}_2$  Reduktion beiträgt. Brenntemperatur  $\text{MgO}$  ca.  $800^\circ\text{C}$  und jene des Portlandzement  $1300^\circ\text{C}$ .

Rekalzinierbarkeit des  $\text{MgO}$ , was das Bindemittel somit als derzeit einziges bekanntes Bindemittel wiederverwendbar macht und somit Bauteile– Gussformen aus der obengenannten Trockenmörtelmischung 100% recycelbar macht.

Das durch das selektive Binden im 3D-Druckprozess nicht gehärtete Material kann öfter wiederverwendet werden. Versuche ergaben selbst nach 7-maliger Wiederverwendung nur geringe Festigkeitsverluste. Um das Material im 3D Druckprozess wiederverwerten zu können muss es nur gesiebt und erneut gemischt werden, wobei eine geringe Menge von ungebrauchten  $\text{MgO}$  (10%) zugegeben wird. Dabei werden geringfügige Ausstoßmengen durch die Siebung erzeugt. Dies ist in dieser Form auch nur mit  $\text{MgO}$  möglich. Portlandzemente und CSA Zemente verursachen durch größere Anhaftungen wesentlich höhere Ausstoßmengen und verlieren bei Wiederverwendung wesentlich an Festigkeit. Dies liegt wohl daran das Portlandzemente sehr hygroskopisch sind und im 3D-Druckprozess die Flüssigkeit die durch das Drucken sowie der Wasserdampf der durch das Aushärten entsteht angezogen wird.

Da der Bindemittelanteil in der Pulvermischung sehr hoch ist, bedeutet dies einen erheblichen Kostenvorteil auf einen Drucker mit  $10\text{m}^3$  Druckvolumen pro Druck. Dies macht das Verfahren somit für die Bauindustrie nachhaltig und wirtschaftlich. Zudem kann das gesamte Material wiederverwertet im Kreislauf gehalten werden.

Die Wiederverwertung des Materials gelang ohne Verschlechterungen der Qualität der Gussformen. Durch die Verwendung von Leichtzuschlagstoffen ist die Form vom Gewicht wesentlich leichter als Formen aus Sand und dabei wenigstens gleich fest, wenn nicht fester. Da Leichtzuschlagstoffe ein weichere Korneigenfestigkeit haben lässt sich die Form, ähnlich wie Holz, einfach nachbearbeiten.

Im Folgenden wird erfindungsgemäß beschrieben, wie eine solche Form wirtschaftlich hergestellt werden kann, recycelt wird und das Ausgangsmaterial der Form, zur Produktion neuer Formen wiederverwendet werden kann.

5 Als Beschichtung- Schalhaut wird die bauteilberührende Oberfläche einer Form- Schalung für z.B. Betonbauteile bezeichnet. Im Folgenden werden die Anforderungen an die Beschichtung bzw. Schalhaut im Kaltgussverfahren exemplarisch am Werkstoff Beton erklärt. Da der

10 Zur Einhaltung der Anforderungen an die geschalteten Betonoberflächen werden verschiedene Elemente der Schalung, in diesem Fall der additiv gefertigten Gussform mit Schalhaut, in den sogenannten Schalungshautklassen SHK 01 bis SHK 03 klassifiziert. Die Schalungsklassen beschreiben dabei die Schalhaut, den Einsatzzustand, die Oberflächenstruktur, die Flächengliederung, Kantenausbildung usw.

15 Maßgeblichen Einfluss auf das gewünschte Sichtbetonergebnis der Ansichtsfläche hat dabei die Saugfähigkeit der Schalhaut. Je nachdem ob die Schalhaut saugend oder nichtsaugend ist, kann das gewünschte Resultat unterschiedlich sein. Eine saugende Schalhaut entzieht Luft und Überschusswasser aus den Betonrandzonen, wodurch sich Oberflächen mit wenig Poren und einem relativ gleichmäßigen Farbton bilden.

20 Demgegenüber ermöglicht eine nichtsaugende Schalhaut die Herstellung nahezu glatter Oberflächen. Sie begünstigt allerdings die Entstehung von Poren, Marmorierungen, Wolkenbildungen und Farbtonunterschieden. Tendenziell erscheinen diese Flächen eher hell.

25 Somit ist es möglich je nach Art der Schalhaut und der vom 3D-Drucker auf die Oberfläche der Gussform aufgebrachte Textur eine Vielzahl an Sichtbetonoberflächen, je nach Kundenwunsch zu gestalten. Eine gedruckte Textur der Gussformoberfläche kombiniert mit den speziellen Eigenschaften der Schalhaut erhöhen die Designmöglichkeiten der Sichtbetonoberfläche erheblich.

30 Als Schalhaut hat sich aufgrund der besonderen Anforderungen eine Beschichtung aus Duroplasten wie Polyurethan oder Epoxidharz, ungesättigte Polyesterharz oder Phenoplasten bewährt. Dabei werden vorzugsweise Polyurethane gewählt, die hochelastisch sind, gute mechanische Eigenschaften aufweisen wie Abriebfestigkeit, thermische Beständigkeit,

monolithische Bauweise, vollflächige Haftung und eine gute Wasserdampfdiffusion, was der Blasenbildung vorbeugt. Die Beschichtung wird im flüssigen Zustand durch einen Roller oder Pinsel aufgetragen oder durch eine Spritzanlage aufgesprüht. Das Aufsprühen-Spritzen eignet sich vor allem bei komplizierten Flächen und ist sehr wirtschaftlich. Die Beschichtung hat eine  
5 Dicke von 0,1 mm - 1,5 mm und kann, gut die auf die Form aufgedruckten Texturen, auf den Beton übertragen. Sind keine Texturen gewünscht, kann durch Glattschleifen der Oberfläche der Gussform eine absolut glatte beschichtete Oberfläche hergestellt werden.

Daher ist es wichtig, dass sich der 3D gedruckte Formkörper durch Schleif-Poliermaschinen  
10 gut bearbeiten lässt, was bei Leichtbaustoffen der Fall ist. Nach dem Trocknen der Beschichtung kann die Schalung mit einem angepassten Trennmittel versehen werden und ist sofort einsatzbereit und kann bei vorsichtiger Verwendung sehr oft wiederverwendet werden. Ist die Schalhaut abgenutzt, kann sie gereinigt werden und erneut mit PU beschichtet und repariert werden. Unebenheiten, Kratzer oder Beschädigungen können mit z.B. Gips gefüllt und  
15 abgeschliffen werden. Somit ist das System auch einfach zu reparieren, sollten Beschädigungen in der Form und Beschichtung auftreten. Sollten spezielle Sichtbetonflächen mit tiefen Strukturen oder sehr filigranen Strukturen gewünscht sein, so kann man auf die Beschichtung vorgefertigte Schalungsmatrizen aus z.B. PU oder Silikon aufgeklebt werden. Zudem ist es möglich textile Schalungsbahnen, Fliese oder Folien, die über Siebdruckverfahren mit  
20 Abbinde-Verzögerer beschichtet werden, auf die Beschichtung zu kleben, was weitere Möglichkeiten der architektonischen Oberflächengestaltung ermöglicht.

Die beschichtete Form kann auch selbst als Grundform für das Abformen mit Abformmassen wie weichen PU oder Silikon dienen, um Bauteile mit besonders filigranen Anforderungen  
25 herzustellen. Die weichen Abformmassen haben den Vorteil, dass sie sich leichter entformen lassen.

Die Schalung ist aufgrund ihrer Robustheit und ihrer einfachen Reparaturmöglichkeiten über viele Kaltgussvorgänge hinweg einsetzbar. Sollte ihr Lebenszyklus zu Ende sein, ist es das Ziel  
30 die gesamte Gussform zu recyceln und das Grundmaterial des Formkörpers, am besten wieder zur Produktion neuer Schalungen zu verwenden. Der Recyclingvorgang beginnt damit, dass die Schalhaut entfernt wird. Dies kann mechanisch durch abfräsen, abschaben, abkratzen erfolgen, chemisch durch Aufsprühen eines Lösungsmittels oder thermisch durch Erhitzen und

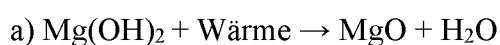
Abschaben. Da die Schalhaut sehr dünn ist (0,1 - 1,5 mm) fallen nur geringe Mengen an Kunststoffmüll an.

Die additiv gefertigte Gussform wird in einem 3D Drucker nach dem in der Fachwelt  
5 bekannten Verfahren Binder Jetting hergestellt. Nach dem Anfertigen der Gussform im 3D  
Drucker muss die Gussform beim Binder Jetting vom ungebunden Partikelmaterial freigelegt  
und gesäubert werden. Nach der Reinigung wird die Gussform für die Beschichtung vorbereitet.  
Dabei werden gegebenenfalls Ausschalhilfen eingebaut und die Form, wenn notwendig,  
nachbearbeitet. Nach der Reinigung vom losen Partikelmaterial kann die Form nach einer  
10 Trockenzeit von ein paar Stunden der Beschichtung zugeführt werden. Nachdem die  
Beschichtung getrocknet und ausgehärtet ist, kann sie unmittelbar der Herstellung des Bauteils  
im Kaltgussverfahren zugeführt werden. Auf die Gussform wird das Trennmittel gesprüht.  
Wenn aus statischen Erfordernissen notwendig kann die Bewehrung aus Eisen oder Textilien  
eingebaut werden. Schließlich kann im Kaltgussverfahren das Bauteil hergestellt werden. Dazu  
15 kann z.B. ein Gemisch aus Beton verwendet werden, oder es werden andere für das Bauwesen  
geeignete Materialien, wie z.B. Gips, Kalk oder Ton-Lehm samt Zuschlag verwendet. Nachdem  
die Bauteile ausgehärtet sind, können sie ausgeschalt werden.

Dabei kommen die Ausschalhilfen zum Einsatz welche das Bauteil vorsichtig von der Form-  
20 Schalung lösen. Mit Hilfe eines Hebemittels wie einen Kran können die Bauteile von der Form  
abgehoben werden und der Weiterverarbeitung zugeführt werden. Die Form wird gereinigt und  
erneut mit Trennmittel versehen und für den nächsten Gussvorgang vorbereitet. Sie kann auch  
nur als sogenannte Einmalform mit der Losgröße 1 verwendet werden. Bei einer einmaligen  
Verwendung wird die Form nach ihrem Gebrauch recycelt. Dabei wird die Schalungshaut durch  
25 ein mechanisches-, thermisches- oder chemischen Verfahren entfernt. Vorzugsweise  
mechanisch und/oder chemisch. Nach der Entfernung der Schalhaut wird die Form in für den  
Brecher geeignete Stücke zerlegt und in einem dafür geeigneten Brecher gebrochen. Der  
Brecher kann ein Backenbrecher, Kegelbrecher oder Prallbrecher sein. Vorzugsweise wird ein  
Prallbrecher eingesetzt. Als Aufbereitungsverfahren können Trockenaufbereitungsverfahren  
30 oder Nassaufbereitungsverfahren eingesetzt werden, vorzugsweise wird Trockenaufbereitung  
verwendet. Nach dem Zerkleinern des Materials mit einem Brecher, gibt es je nach Größe des  
Materialanfalls zwei Möglichkeiten das gebrochene Partikelmaterial zu recyceln:

a) Recycling und Rückführen des Materials in den Materialkreislauf ohne Rekalzinierung (ohne erneutes Brennen von MgO): Dieses Aufbereitungsverfahren wird bevorzugt bei geringeren Material- und Durchsatzmengen eingesetzt und stellt einen kostengünstigen Weg des Partikelmaterialrecyclings dar, da man sich den Brennvorgang samt den dafür notwendigen Vorrichtungen sparen kann. Nach dem Brechen kann das zerkleinerte Partikelmaterial in einer Attritionstrommel oder durch ein Hochspannungs-Aufschlussverfahren auf die gewünschten Korngrößen weiter zerkleinert werden oder es wird gleich der Klassierung durch Windsichten oder Sieben zugeführt. Nach dem Klassieren, vorzugsweise durch Sieben, werden die unterschiedlichen Korngrößen des Partikelmaterials in Vorratsbehältern gesammelt. Bei der Herstellung einer neuen Partikelmaterialmischung für den 3D-Druckprozess wird das recycelte Partikelmaterial dieser als Zuschlag zugegeben. Die neue Partikelmaterialmischung kann aus bis zu 5-70% recycelter Partikelmaterialmischung bestehen, vorzugsweise werden 40% recycelte Partikelmaterialmischung als Zuschlagstoff zugegeben.

b) Recycling und Rückführen des Materials in den Materialkreislauf ohne Rekalzinierung (mit erneutem Brennen des MgO): Dieses Aufbereitungsverfahren wird bevorzugt bei großen Materialmengen und hohen Durchsatzmengen angewendet. Durch die Rekalzinierung können die Kosten für das Bindemittel MgO zusätzlich gesenkt werden, da keine Abbaukosten und Transportkosten anfallen. Das vom Brecher, vorzugsweise einem Prallbrecher, zerkleinerte Material kann durch die Attritionsmethode in der Attritionstrommel oder durch Hochspannungs-Aufschlussverfahren weiter aufbereitet werden und in seinen Grundbestandteilen Zuschlagstoff und Bindemittel getrennt werden. Die Attritionstrommel wälzt das Material bei geringer Geschwindigkeit um, wobei die Oberfläche der Partikel einer Reibungskraft zwischen den Partikeln sowie der Trommelwand und den Partikeln ausgesetzt wird. Durch diese Reibung können sich die Zuschlagstoffe und Bindemittelpartikel aufgrund ihrer unterschiedlichen Härte weiter trennen. Durch die Klassierung mit Hilfe von Windsichtung oder Siebung werden die Bestandteile nach Partikelgröße oder Partikeldichte klassiert. Der auf diese Weise gewonnene Zuschlagstoff (z.B. Blähton, Blähglas) kann direkt für eine neue Partikelmaterialmischung zur Herstellung einer neuen Form verwendet werden. Das Bindemittel wird in einem Ofen, vorzugsweise einem Drehrohrofen oder Wirbelschichtofen nochmals kalziniert. Diesen Prozess des erneuten Brennens bezeichnet man als Rekalzinierung. Beim Rekalzinieren gewinnt das bereits einmal erhärtete Magnesiumoxid wieder an Reaktivität. Dabei laufen folgende Vorgänge ab:



b)  $\text{MgCO}_3 + \text{Wärme} \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$ .

Das im Partikelmaterial vorhandene Magnesiumchlorid oder Magnesiumsulfat spaltet sich bei der Erhitzung ebenfalls auf. Bei der Thermischen Behandlung spaltet sich das Magnesiumchlorid in Magnesiumoxid und Magnesiumoxichlorid und Chlorwasserstoff auf.

5 Das Magnesiumsulfat spaltet sich in Magnesiumoxid und in Schwefeldioxid auf. Da die Abgase Magnesiumoxid enthalten, kann durch das Einbringen von Wasserdampf mittels Quenche das Schwefeldioxid wieder in Magnesiumsulfat bzw. der Chlorwasserstoff in Magnesiumchlorid umgewandelt werden. Diese können jeweils wiederum gefiltert und in die Produktion rückgeführt werden.

10 Somit können alle Stoffe erneut zur Herstellung einer neuen Partikelmaterialmischung und zur Herstellung einer neuen Form in einem 3D-Drucker eingesetzt werden. Dabei kann die Bindemittelmenge aus einer Mischung von recycelten und ungebrauchten Bindemittel bestehen. Das Verhältnis liegt dabei vorzugsweise zwischen 40% recycelten und 60% neuen Bindemittel oder zwischen 50% und 50%.

15

Das Material MgO und das erfindungsgemäße Verfahren zum Herstellen von Gussformen sowie Bauteilen ermöglicht praktisch 100% Recycling und ist nachhaltig. Im Unterschied dazu stehen Formen die derzeit aus Holz, Styropor, Gips usw. konventionell in Handarbeit oder mit Hilfe von Fräsen erzeugt und anschließend entsorgt werden müssen.

20

## ANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Herstellung einer additiv gefertigten Gussform für die Herstellung von Bauteilen im Kaltgussverfahren oder Laminierverfahren, umfassend die Schritte
- 5 a) Festlegen einer dreidimensionalen Struktur der Gussform,  
b) Bereitstellen einer Mischung, wobei die Mischung Bindemittel und Zuschlagstoff umfasst,  
c) Bereitstellen einer Druckflüssigkeit, umfassend eine wässrige Lösung von Magnesiumchlorid oder Magnesiumsulfat,  
d) Aufbringen einer Lage der Mischung auf einen Träger,  
10 e) Auftragen der Druckflüssigkeit nur auf jene Teile der Mischung, die Teil der Gussform bilden sollen,  
f) Auftragen einer weiteren Lage der Mischung auf die vorherige Lage der Mischung,  
g) Auftragen der Druckflüssigkeit nur auf jene Teile der Mischung, die Teil der Gussform bilden sollen,  
15 h) Wiederholen der Schritte f) und g) bis die gewünschte Form der Gussform erreicht ist,  
i) Abbinden lassen jener Teile der Mischung, die mit der wässrigen Lösung von Magnesiumchlorid oder Magnesiumsulfat versetzt wurden,  
j) Entfernen der nicht mit wässriger Lösung versetzten Mischung, und  
k) Beschichten zumindest jener Teile der Gussform, welche mit dem Material des  
20 Kaltguss-Laminierverfahrens in Kontakt kommen, mit einer Schalhaut.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Mischung zusätzlich einen Füllstoff umfasst.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Mischung
- 10 bis 70 Gew.% Bindemittel
  - 30 bis 90 Gew. % Zuschlagstoff
  - 0,01 bis 3 Gew.% Füllstoff
- aufweist.
- 30 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Bindemittel Calciumoxid, Zemente, Calciumsulfat, Magnesiumoxid, Lehm- Ton, Trass, oder Mischungen daraus umfasst.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Bindemittel Magnesiumoxid umfasst.
- 5 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Zuschlagstoff eine Dichte von  $50 \text{ kg/m}^3$  bis  $1400 \text{ kg/m}^3$  aufweist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Zuschlagstoff Blähton, Blähperlit, Blähglimmer, Blähglas, Blähschiefer, Bims, Holzspäne,  
10 Lavastein-Schaumlava, Kesselsand, gesinterte Steinkohleflugasche oder Recycling- oder Abfallbaustoffe aus Gas-Porenbeton, Aerogele, Ziegelbaustoffe oder Mischungen daraus umfasst.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der  
15 Zuschlagstoff unterschiedliche Korngrößen aufweist, wobei vorzugsweise die Korngrößenverteilung einer Idealsieblinie  $A(d) = (d/d_{\text{max}})^q$  mit einem Korngemenge mit  $0,2 < q < 0,7$ .
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Füllstoff  
20 Mehlkorn, Methylcellulose, Bentonit oder Kombinationen daraus umfasst.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Druckflüssigkeit eine Magnesiumchloridkonzentration oder Magnesiumsulfatkonzentration von zumindest 30 Gew.%, vorzugsweise von 45 bis 55 Gew.% aufweist.
- 25 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Schalhaut Duroplasten, vorzugsweise Polyurethan oder Epoxidharz, ungesättigte Polyesterharz oder Phenoplasten umfasst.
- 30 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Mischung aus Bindemittel und Zuschlagstoff aus einer benutzten Gussform gewonnen wird, insbesondere zuvor hergestellt nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei von der benutzten Gussform zuerst die Schalhaut entfernt wird und anschließend die Gussform ohne Schalhaut rekalziniert und zerkleinert wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass es mit einem 3D-Drucker durchgeführt wird.
- 5 14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der 3D-Drucker eine Steuerung aufweist, wobei in die Steuerung die dreidimensionale Struktur der Gussform eingegeben wird, wobei der 3D-Drucker
- (i) eine Aufnahme- und Dosiereinheit für die Mischung,
  - (ii) eine Aufnahme- und Dosiereinheit für die Druckflüssigkeit;
  - 10 (iii) gegebenenfalls eine Aufnahme- und Dosiereinheit für ein Stellmittel zum Einstellen der Viskosität der Druckflüssigkeit und
  - (iv) einen Träger aufweist,
- wobei die Steuerung die Schritte (a) bis (k) durchführt, indem sie die die eine Aufnahme- und Dosiereinheit für die Mischung, die Aufnahme- und Dosiereinheit für die Druckflüssigkeit und
- 15 gegebenenfalls eine Aufnahme- und Dosiereinheit für ein Stellmittel zum Einstellen der Viskosität der Druckflüssigkeit steuert.
15. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils, wobei zuerst in einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14 eine Gussform bereitgestellt wird und anschließend in die bereitgestellte
- 20 Gussform ein Material eingegossen oder laminiert und gehärtet wird.
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Material Beton ist.
17. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Material ausgewählt ist
- 25 aus der Gruppe bestehend aus anorganischen gieß- und laminiertfähigen Materialien wie z.B. Gips, Keramische Materialien, Lehm, Ton, Faserzement und organischen gieß und laminiertfähigen Materialien wie z.B. Gießharzen aus Polyurethan und Epoxid, Silikone, Glasfaserverstärkte Kunststoffe sowie Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff.
- 30 18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, die Druckflüssigkeit eine wässrige Lösung von Magnesiumchlorid umfasst, vorzugsweise eine wässrige Lösung von Magnesiumchlorid ist.
19. 3D-Drucker zum Drucken einer dreidimensionalen Gussform, wobei der 3D-Drucker

(i) eine Aufnahme- und Dosiereinheit für die Mischung;  
(ii) eine Aufnahme- und Dosiereinheit für die Druckflüssigkeit;  
(iii) gegebenenfalls eine Aufnahme- und Dosiereinheit für ein Stellmittel zum Einstellen der Viskosität der Druckflüssigkeit und

5 (iv) einen Träger aufweist,

wobei der 3D-Drucker eine Steuerung aufweist,

wobei in der Steuerung eine dreidimensionale Struktur der Gussform hinterlegbar ist,

wobei in der Aufnahme- und Dosiereinheit für die Mischung die Mischung bereitstellbar ist, wobei die Mischung Bindemittel und Zuschlagstoff umfasst,

10 wobei in der Aufnahme- und Dosiereinheit für die Mischung die Druckflüssigkeit, umfassend eine wässrige Lösung von Magnesiumchlorid bereitstellbar ist,

wobei die Steuerung derart ausgebildet ist, dass sie Aufnahme- und Dosiereinheit für die Mischung und die Aufnahme- und Dosiereinheit für die Mischung derart ansteuert, dass die Schritte e) bis h) des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 16 durchgeführt werden.

15

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/AT2022/060370**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>B28B 1/00</i> (2006.01)i; <i>B33Y 30/00</i> (2015.01)i; <i>C04B 28/00</i> (2006.01)i; <i>C04B 28/02</i> (2006.01)i; <i>C04B 28/14</i> (2006.01)i; <i>C04B 28/30</i> (2006.01)i; <i>C04B 28/32</i> (2006.01)i; <i>B33Y 10/00</i> (2015.01)i; <i>B22C 1/18</i> (2006.01)i; <i>B22C 3/00</i> (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B29C; B28B; B33Y; C04B; B22C		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2016257072 A1 (OKAMOTO ELJI [JP] ET AL) 08 September 2016 (2016-09-08) paragraph [0072] - paragraph [0075]; claims 1,4; figure 60	19
X	US 2012156516 A1 (KIHARA N; KUZUSAKO J; MATSUI T; NIIZAKA K; SHINSAKA K; YASUKOCHI H) 21 June 2012 (2012-06-21) paragraph [0063]; claim 1; figure 1	19
X	EP 2011774 A1 (SUZUKI SHIGEKI [JP]; SHIMIZU KOUTARO [JP] ET AL.) 07 January 2009 (2009-01-07) paragraph [0084] - paragraph [0086]; claims 10,11	19
A	paragraph [0070] - paragraph [0072]; claims 1,2	1
X	CN 106827171 A (CHINA BUILDING MAT ACADEMY) 13 June 2017 (2017-06-13) paragraph [0080] - paragraph [0083]	19
A	paragraph [0092] - paragraph [0100]; example 2	1
X	WO 2004112988 A2 (VOXELJET GMBH VORMALS GENERIS [DE]; HOECHSMANN RAINER [DE]) 29 December 2004 (2004-12-29) page 7, line 29 - page 8, line 5	19
A	claims 1,5,12,13	1-18
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search <b>20 January 2023</b>		Date of mailing of the international search report <b>27 January 2023</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Kolb, Ulrike</b> Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/AT2022/060370**

<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2011087564 A1 (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY [US]; BREDT JAMES F [US] ET AL.) 21 July 2011 (2011-07-21) claims 1,3,5,6,13,21,23	1
A	US 2020039883 A1 (OHGI YOSHIFUMI [JP] ET AL) 06 February 2020 (2020-02-06) paragraph [0060]	1
A	US 2004138336 A1 (BREDT JAMES F [US] ET AL) 15 July 2004 (2004-07-15) paragraphs [0019], [0036], [0039] Claims 66-69	1
A	CN 113213884 A (TIANYING SHENZHEN ECOLOGICAL BUILDING MATERIAL TECH CO LTD) 06 August 2021 (2021-08-06) claims 1,3,5,7	1

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/AT2022/060370**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2016257072	A1	08 September 2016	CN	105936129	A	14 September 2016
				JP	2016159571	A	05 September 2016
				US	2016257072	A1	08 September 2016
US	2012156516	A1	21 June 2012	AT	510881	A2	15 July 2012
				CN	102555027	A	11 July 2012
				JP	2012131094	A	12 July 2012
				US	2012156516	A1	21 June 2012
				NONE			
EP	2011774	A1	07 January 2009	AU	2007242324	A1	01 November 2007
				CA	2649840	A1	01 November 2007
				CN	101426748	A	06 May 2009
				EP	2011774	A1	07 January 2009
				JP	5216989	B2	19 June 2013
				JP	WO2007122804	A1	27 August 2009
				KR	20100087411	A	05 August 2010
				TW	200804224	A	16 January 2008
				US	2009298033	A1	03 December 2009
				WO	2007122804	A1	01 November 2007
				CN	106827171	A	13 June 2017
CN	109732739	A	10 May 2019				
NONE							
WO	2004112988	A2	29 December 2004	AT	347948	T	15 January 2007
				DE	10327272	A1	03 March 2005
				EP	1633509	A2	15 March 2006
				ES	2277261	T3	01 July 2007
				US	2006237159	A1	26 October 2006
				US	2011308755	A1	22 December 2011
				WO	2004112988	A2	29 December 2004
				NONE			
WO	2011087564	A1	21 July 2011	US	2011177188	A1	21 July 2011
				WO	2011087564	A1	21 July 2011
US	2020039883	A1	06 February 2020	CN	109641260	A	16 April 2019
				EP	3479923	A1	08 May 2019
				US	2020039883	A1	06 February 2020
				WO	2018003832	A1	04 January 2018
US	2004138336	A1	15 July 2004	NONE			
CN	113213884	A	06 August 2021	NONE			

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
**PCT/AT2022/060370**

<b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b>		
<b>INV.</b> B28B1/00	B33Y30/00	C04B28/00
C04B28/30	C04B28/32	B33Y10/00
		C04B28/02
		C04B28/14
<b>ADD.</b>		B22C1/18
		B22C3/00
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b>		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )		
<b>B29C B28B B33Y C04B B22C</b>		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
<b>EPO-Internal, WPI Data</b>		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
<b>Kategorie*</b>	<b>Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile</b>	<b>Betr. Anspruch Nr.</b>
<b>X</b>	<b>US 2016/257072 A1 (OKAMOTO EIJI [JP] ET AL) 8. September 2016 (2016-09-08)</b> <b>Absatz [0072] – Absatz [0075]; Ansprüche 1,4; Abbildung 60</b> -----	<b>19</b>
<b>X</b>	<b>US 2012/156516 A1 (KIHARA N; KUZUSAKO J; MATSUI T; NIIZAKA K; SHINSAKA K; YASUKOCHI H) 21. Juni 2012 (2012-06-21)</b> <b>Absatz [0063]; Anspruch 1; Abbildung 1</b> -----	<b>19</b>
<b>X</b>	<b>EP 2 011 774 A1 (SUZUKI SHIGEKI [JP]; SHIMIZU KOUTARO [JP] ET AL.)</b> <b>7. Januar 2009 (2009-01-07)</b>	<b>19</b>
<b>A</b>	<b>Absatz [0084] – Absatz [0086]; Ansprüche 10,11</b> <b>Absatz [0070] – Absatz [0072]; Ansprüche 1,2</b> -----	<b>1</b>
	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absdtedatum des internationalen Recherchenberichts
<b>20. Januar 2023</b>		<b>27/01/2023</b>
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter  <b>Kolb, Ulrike</b>

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	CN 106 827 171 A (CHINA BUILDING MAT ACADEMY) 13. Juni 2017 (2017-06-13)	19
A	Absatz [0080] – Absatz [0083] Absatz [0092] – Absatz [0100]; Beispiel 2 -----	1
X	WO 2004/112988 A2 (VOXELJET GMBH VORMALS GENERIS [DE]; HOECHSMANN RAINER [DE]) 29. Dezember 2004 (2004-12-29)	19
A	Seite 7, Zeile 29 – Seite 8, Zeile 5 Ansprüche 1, 5, 12, 13 -----	1-18
A	WO 2011/087564 A1 (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY [US]; BREDT JAMES F [US] ET AL.) 21. Juli 2011 (2011-07-21)	1
	Ansprüche 1, 3, 5, 6, 13, 21, 23 -----	
A	US 2020/039883 A1 (OHGI YOSHIFUMI [JP] ET AL) 6. Februar 2020 (2020-02-06)	1
	Absatz [0060] -----	
A	US 2004/138336 A1 (BREDT JAMES F [US] ET AL) 15. Juli 2004 (2004-07-15)	1
	Absätze [0019], [0036], [0039] Ansprüche 66-69 -----	
A	CN 113 213 884 A (TIANYING SHENZHEN ECOLOGICAL BUILDING MATERIAL TECH CO LTD) 6. August 2021 (2021-08-06)	1
	Ansprüche 1, 3, 5, 7 -----	

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

**PCT/AT2022/060370**

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2016257072 A1	08-09-2016	CN 105936129 A	14-09-2016
		JP 2016159571 A	05-09-2016
		US 2016257072 A1	08-09-2016
US 2012156516 A1	21-06-2012	AT 510881 A2	15-07-2012
		CN 102555027 A	11-07-2012
		JP 2012131094 A	12-07-2012
		US 2012156516 A1	21-06-2012
EP 2011774 A1	07-01-2009	AU 2007242324 A1	01-11-2007
		CA 2649840 A1	01-11-2007
		CN 101426748 A	06-05-2009
		EP 2011774 A1	07-01-2009
		JP 5216989 B2	19-06-2013
		JP WO2007122804 A1	27-08-2009
		KR 20100087411 A	05-08-2010
		TW 200804224 A	16-01-2008
		US 2009298033 A1	03-12-2009
		WO 2007122804 A1	01-11-2007
		CN 106827171 A	13-06-2017
CN 109732739 A	10-05-2019		
WO 2004112988 A2	29-12-2004	AT 347948 T	15-01-2007
		DE 10327272 A1	03-03-2005
		EP 1633509 A2	15-03-2006
		ES 2277261 T3	01-07-2007
		US 2006237159 A1	26-10-2006
		US 2011308755 A1	22-12-2011
		WO 2004112988 A2	29-12-2004
WO 2011087564 A1	21-07-2011	US 2011177188 A1	21-07-2011
		WO 2011087564 A1	21-07-2011
US 2020039883 A1	06-02-2020	CN 109641260 A	16-04-2019
		EP 3479923 A1	08-05-2019
		US 2020039883 A1	06-02-2020
		WO 2018003832 A1	04-01-2018
US 2004138336 A1	15-07-2004	KEINE	
CN 113213884 A	06-08-2021	KEINE	