

Nadine Merkel

Besonderheiten von 3D-Druck-Häusern auf und außerhalb der Erde



Diplomica Verlag

Merkel, Nadine: Besonderheiten von 3D-Druck-Häusern auf und außerhalb der Erde, Hamburg, Diplomica Verlag 2020

Buch-ISBN: 978-3-96146-795-2

PDF-eBook-ISBN: 978-3-96146-295-7

Druck/Herstellung: Diplomica Verlag, Hamburg, 2020

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und die Bedey Media GmbH, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Alle Rechte vorbehalten

© Diplomica Verlag, Imprint der Bedey Media GmbH
Hermannstal 119k, 22119 Hamburg
<http://www.diplomica-verlag.de>, Hamburg 2020
Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 11 |
| 1.1 | Problemstellung und Zielsetzung..... | 11 |
| 1.2 | Methodische Vorgehensweise..... | 12 |
| 1.3 | Gliederung und Abgrenzung..... | 13 |
| 2 | 3D-Druck-Haus | 14 |
| 2.1 | Begriffserläuterung | 14 |
| 2.2 | Allgemeine Informationen | 15 |
| 3 | Besonderheiten von 3D-Druck-Häusern auf der Erde | 18 |
| 3.1 | Baustoffe..... | 18 |
| 3.1.1 | Kunststoff..... | 19 |
| 3.1.2 | Beton | 19 |
| 3.1.3 | Holz und Fasern | 20 |
| 3.2 | 3D-Druck-Verfahren..... | 20 |
| 3.2.1 | Extrusionsverfahren..... | 20 |
| 3.2.2 | Selektives Binden | 22 |
| 3.2.3 | Alternatives schichtweises Betonablageverfahren | 24 |
| 3.2.4 | Adaptives Gleitschalungsverfahren | 25 |
| 3.3 | BIM | 25 |
| 3.4 | Gesetzeslage..... | 26 |
| 3.4.1 | Stahlbewehrung..... | 26 |
| 3.4.2 | Fehlende Gesetze und Normen..... | 27 |
| 4 | Besonderheiten von 3D-Druck-Häusern außerhalb der Erde | 28 |
| 4.1 | Baustoffe..... | 28 |
| 4.1.1 | Mond - Lunar Regolith | 28 |
| 4.1.2 | Mars - Basalt..... | 29 |
| 4.2 | Äußere Einflüsse | 29 |
| 5 | Praxisbeispiele 3D-Druck-Häuser | 30 |
| 5.1 | Europa – Italien, Russland, Frankreich, Dänemark, Schweiz..... | 31 |
| 5.2 | Asien – China, Vereinigte Arabische Emirate..... | 37 |
| 5.3 | Amerika – USA | 42 |
| 5.4 | Mond und Mars..... | 44 |
| 6 | Lösungsansätze für 3D-Druck-Häuser auf der Erde | 49 |
| 6.1 | Baustoffe..... | 49 |
| 6.1.1 | Kunststoff..... | 50 |
| 6.1.2 | Beton | 50 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 6.1.3 | Holz..... | 51 |
| 6.1.4 | Fasern..... | 52 |
| 6.1.5 | Baustoffanalyse | 53 |
| 6.2 | 3D-Druck-Verfahren..... | 54 |
| 6.2.1 | Extrusionsverfahren..... | 56 |
| 6.2.2 | Selektives Binden | 57 |
| 6.2.3 | Alternatives schichtweises Betonablageverfahren | 58 |
| 6.2.4 | Adaptives Gleitschalungsverfahren | 58 |
| 6.3 | BIM | 59 |
| 6.4 | Gesetzeslage..... | 60 |
| 6.4.1 | Stahlbewehrung..... | 60 |
| 6.4.2 | Fehlende Gesetze und Normen..... | 62 |
| 7 | Lösungsansätze für 3D-Druck-Häuser außerhalb der Erde | 64 |
| 7.1 | Baustoffe..... | 64 |
| 7.1.1 | Mond – Lunar Regolith | 64 |
| 7.1.2 | Mars - Basalt..... | 64 |
| 7.2 | Äußere Einflüsse | 65 |
| 7.2.1 | Richtige Standortwahl..... | 66 |
| 7.2.2 | Geeignete Gebäudestruktur | 67 |
| 7.2.3 | Wahl des Druckverfahrens | 71 |
| 8 | Zusammenfassung und Ausblick..... | 72 |
| 9 | Literaturverzeichnis | 76 |
| 10 | Anhang..... | 87 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------------|--|
| 3D | Dreidimensional |
| ABS | Acrylnitril-Butadien-Styrol |
| BIM | Building Information Modeling |
| CAD | Computer-aided design |
| CO ₂ | Kohlenstoffdioxid |
| DIN | Deutsches Institut für Normung |
| ESA | European Space Agency |
| EU | Europäische Union |
| FDM | Fused Deposition Modeling |
| MARSHA | Mars Habitat |
| NASA | Nationale Aeronautik- und Raumfahrtbehörde |
| PLA | Poly lactide |
| US | United States |
| VDI | Verein Deutscher Ingenieure |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------------|---|----|
| Abbildung 1: | Aufbau der Studie | 13 |
| Abbildung 2: | Beispiel 3D-Drucker | 14 |
| Abbildung 3: | Kostenvergleich konventioneller Mauerwerksbau und 3D-Drucktechnologie von CONPrint3D | 16 |
| Abbildung 4: | Extrusionsverfahren | 21 |
| Abbildung 5: | Bauteil mit unterschiedlicher Dichteigenschaft | 21 |
| Abbildung 6: | Nassdrucken | 23 |
| Abbildung 7: | Selektive Aktivierung | 24 |
| Abbildung 8: | Gaia Wohnhaus | 31 |
| Abbildung 9: | Wohnhaus aus dem 3D-Drucker in Jaroslawl | 32 |
| Abbildung 10: | 3D-Wohnhaus Apis Cor | 33 |
| Abbildung 11: | Wandaufbau mit Stahl integriert 3D-Haus Russland | 34 |
| Abbildung 12: | Yhnova 3D-Haus | 35 |
| Abbildung 13: | 3D-Druck-Hoteloffice Kopenhagen | 36 |
| Abbildung 14: | DFAB HOUSE Zürich | 37 |
| Abbildung 15: | 3D-Druck-Haus der Wohnsiedlung in Shanghai. | 38 |
| Abbildung 16: | Bauprozess 3D-Wohnsiedlung China | 38 |
| Abbildung 17: | Villa in Suzhou | 39 |
| Abbildung 18: | Bauphase 3D-Villa China | 39 |
| Abbildung 19: | Villa China 3D-Druck | 40 |
| Abbildung 20: | 3D-Druck der Wandelemente Villa China | 40 |
| Abbildung 21: | 3D-Bürokomplex Dubai Außenansicht | 41 |
| Abbildung 22: | 3D-Druck-Wohnhaus in Texas | 42 |
| Abbildung 23: | Wandaufbau 3D-Druck-Wohnhaus Texas | 42 |
| Abbildung 24: | PassivDom 3D-Haus | 43 |
| Abbildung 25: | MARSHA | 45 |
| Abbildung 26: | Digitale Wiedergabe vom zukünftigen MARSHA-Projekt | 45 |
| Abbildung 27: | Mars Habitat Penn State University | 46 |
| Abbildung 28: | Entwurf Mondhaus von Foster + Partners | 47 |
| Abbildung 29: | Wand aus simuliertem Mondgestein | 48 |
| Abbildung 30: | Stahlbewehrung durch Stahl-Extrusions-Pistole | 62 |
| Abbildung 31: | Testversuche MARSHA und Iglu-förmiger Zementbau | 68 |
| Abbildung 32: | Zweischalige Gebäudestruktur MARSHA | 69 |
| Abbildung 33: | MARSHA auf beweglicher Halterung und mit seitlicher Befestigung | 70 |
| Abbildung 34: | Vereinfachte Darstellung der Zusammenfassung | 74 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-------------|---|----|
| Tabelle 1: | Baustoffempfehlung der Experten | 18 |
| Tabelle 2: | Daten Wohnhaus Gaia | 31 |
| Tabelle 3: | Daten Wohnhaus Russland Jaroslawl..... | 32 |
| Tabelle 4: | Daten Wohnhaus Russland Moskau | 33 |
| Tabelle 5: | Daten Wohnhaus Yhnova..... | 34 |
| Tabelle 6: | Daten Hoteloffice Building on Demand..... | 35 |
| Tabelle 7: | Daten Wohnhaus DFAB HOUSE | 36 |
| Tabelle 8: | Daten Wohnsiedlung China Shanghai..... | 37 |
| Tabelle 9: | Daten China Villa Suzhou..... | 38 |
| Tabelle 10: | Daten Villa China Beijing..... | 40 |
| Tabelle 11: | Daten Bürokomplex Dubai..... | 41 |
| Tabelle 12: | Daten Wohnhaus Chicon House | 42 |
| Tabelle 13: | Daten Wohnhaus Nevada | 43 |
| Tabelle 14: | Daten Gebäudeentwurf MARSHA..... | 44 |
| Tabelle 15: | Daten Mars Habitat Penn State..... | 46 |
| Tabelle 16: | Daten Mondbasis ESA und Foster + Partner | 47 |
| Tabelle 17: | Zusammenfassung der verwendeten Baustoffe in den Praxisbeispielen | 49 |
| Tabelle 18: | Zusammenfassung der Vor- und Nachteile der 3D-Druckverfahren | 55 |
| Tabelle 19: | Anwendung von Stahlbewehrung bei den Praxisbeispielen..... | 61 |

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

„3D-Druck: Die Zukunft des Häuserbaus?“¹ Im Ausland ist der 3D-Druck in der Baubranche an Hand weniger Praxisbeispiele bereits Realität. Auch in Deutschland kann sich die Umsetzung zukünftig als sinnreich erweisen, um vielseitigen Problematiken entgegen zu wirken.

Weltweit sind unzählige Menschen von einem Mangel an verfügbarem und vor allem bezahlbarem Wohnraum betroffen. Des Weiteren zeigen Naturkatastrophen immer wieder auf, wie wichtig die Nachhaltigkeit auch in der Baubranche ist. Die additive Fertigung kann dazu beitragen dem entgegenzuwirken, denn Häuser aus dem 3D-Drucker sind durch den günstigeren Druckprozess preislich kosteneffizienter zu erwerben. Dadurch können sie einen Beitrag zur Bekämpfung des internationalen Mangels an bezahlbarem Wohnraum leisten.² Außerdem ist der Druck von Häusern im Vergleich zum konventionellen Bau schneller und kann zudem direkt vor Ort angewendet werden. Dies hat den Vorteil, beispielsweise nach Naturgefahren, in kürzerer Zeit Ersatzunterkünfte drucken zu können. Zusätzlich erweisen sich die 3D-Bauten als ökologisch nachhaltiger und aufwendige architektonische Designs sind deutlich einfacher herzustellen.

Im Ausland werden die Vorteile bereits erkannt, indem die digitalisierte Technik immer mehr Einzug hält und weiter voranschreitet. In Deutschland dagegen ist der 3D-Druck von Häusern noch nicht marktattraktiv genug, da die Technologie nicht ausreichend genug erforscht ist und zahlreiche Hürden, wie zum Beispiel die Gesetzeslage, der additiven Fertigung im Weg stehen.

Die Anwendung des 3D-Drucks für den Bau von Gebäuden außerhalb der Erde sieht dagegen anders aus. Auf dem Mond oder Mars möchten Wissenschaftler die Technologie so schnell wie möglich anwenden und umsetzen, da der 3D-Druck im Weltall die einzig mögliche Bauweise ist, die umgesetzt werden kann. Aber auch im Weltraum ist man Schwierigkeiten ausgesetzt.

Es ist also deutlich absehbar, dass 3D-Druck-Häuser in Zukunft in Deutschland und im Weltall nur dann ermöglicht werden können, wenn Lösungsansätze für deren Hindernisse beziehungsweise Besonderheiten gefunden werden. Dafür muss jedoch zunächst analysiert sein, welche Besonderheiten es für 3D-Druck-Häuser gibt. Ein Blick auf bereits verwirklichte

¹ H., Alexander 2018

² Vgl. Helmus Frage 4 (Anhang 3)

3D-Druck-Hausprojekte kann dabei sinnvoll erscheinen, um neue Ideen und Anreize für die additive Fertigung im Bauwesen zu finden.

Aus der vorliegenden Problemstellung ergeben sich demnach folgende Forschungsfragen, welche dieser Studie zu Grunde gelegt werden:

- Welche Besonderheiten gibt es für 3D-Druck-Häuser auf der Erde und welche für 3D-Druck-Häuser im Weltall?
- Welche Lösungsansätze lassen sich für diese Besonderheiten an Hand von theoretischen Ansätzen und Praxisbeispielen ableiten?

Ziel der Studie ist es, die Besonderheiten von 3D-Druck-Häusern auf der Erde und im Weltall aufzuzeigen. An Hand der theoretischen Ansätze und dem Vergleich von Praxisbeispielen im Ausland sollen systematische Lösungsansätze für 3D-Druck-Häuser in Deutschland und für 3D-Bauten auf dem Mars oder Mond gefunden werden.

1.2 Methodische Vorgehensweise

Durch verfügbare Literatur werden die Besonderheiten von 3D-Druck-Häusern auf der Erde und im Weltall mit Hilfe von Fachbüchern, wissenschaftlichen Zeitschriften, Dissertationen, Internetseiten und weiterer Fachliteratur veranschaulicht. Die theoretischen Ansätze werden durch die Darstellung von realisierten oder demnächst fertiggestellten Bauprojekten unterstrichen.

Um weitere Informationen zum Themengebiet zu sammeln, die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erhöhen oder um offen gebliebene Fragen zu klären, die mit Hilfe der Literatur nicht oder nur zum Teil beantwortet werden können, wird an Hand der qualitativen Forschung ein objektives Meinungsbild erarbeitet und in die Studie eingebracht. Bei der qualitativen Forschung handelt es sich um eine schriftliche Expertenbefragung. Die Befragungsmethode ist so ausgelegt, dass per E-Mail Experten zum Thema der 3D-Druck-Häuser befragt werden. Um qualitative Aussagen und Informationen aus vielseitigen Themengebieten zu erlangen, werden Universitäts-Professoren, wissenschaftliche Mitarbeiter, Architekten, Stadtplaner, Bauingenieure sowie jegliche Geschäftsführer aus der Baubranche befragt.

1.3 Gliederung und Abgrenzung

Zu Beginn der Studie wird der Begriff „3D-Druck-Haus“ erläutert und eine kurze allgemeine Information über das Thema gegeben. Im anschließenden Hauptteil werden zunächst die Besonderheiten von 3D-Druck-Häusern auf der Erde dargestellt. Diese untergliedern sich in die Themen „Baustoffe“, „3D-Druck-Verfahren“, „BIM“ und „Gesetzeslage“. Die darauffolgenden Besonderheiten von 3D-Druck-Häusern außerhalb der Erde unterteilen sich in „Baustoffe“ und „äußere Einflüsse“. Im anschließenden Kapitel werden jegliche Informationen und Daten an Hand von Praxisbeispielen zu 3D-Druck-Häusern in Europa, Asien, Amerika und welche die für den Mond oder Mars entwickelt werden, konkretisiert. Die theoretischen Ansätze werden schließlich im Analyseteil mit den Praxisbeispielen abgeglichen und daraus systematische Lösungsansätze für 3D-Druck-Häuser in Deutschland und außerhalb der Erde abgeleitet. Die wichtigsten gewonnenen Erkenntnisse werden im letzten Kapitel in einer Zusammenfassung wiederholt und ein Ausblick über die Entwicklungsmöglichkeit von 3D-Druck-Häusern gegeben.

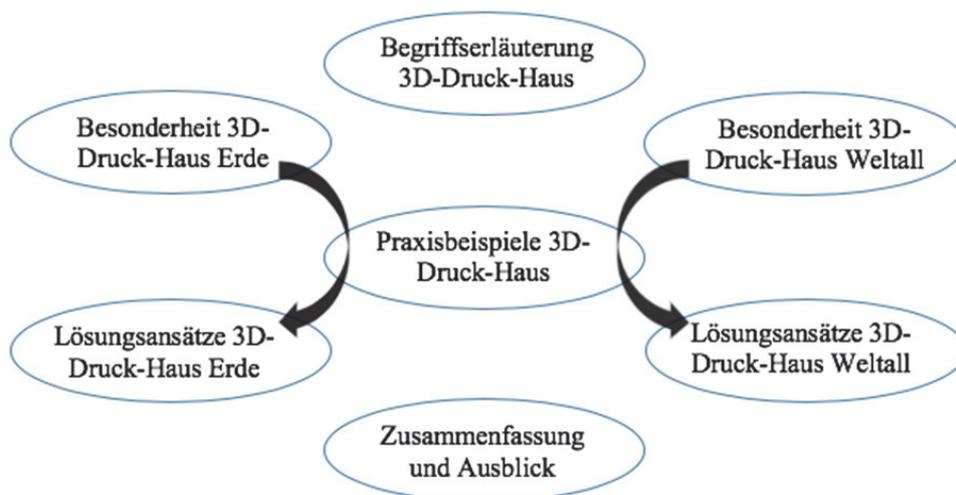


Abbildung 1: Aufbau der Studie (Eigene Darstellung)

In diesem Buch wird nur auf die Besonderheiten von 3D-Druck-Häusern eingegangen, die für den Autor nach ausreichender Forschung und Literaturrecherche am wichtigsten erscheinen, um den Rahmen der Studie nicht zu sprengen.

Des Weiteren beziehen sich die in diesem Buch genannten Besonderheiten und Lösungsansätze hauptsächlich nur auf zukünftige 3D-Druck-Häuser in Deutschland und 3D-Bauten auf dem Mond oder Mars.