

A 3D printer nozzle is shown printing a dark brown, textured cylindrical object on a light blue surface. The background is a blurred industrial setting with purple and blue lighting. A green circular line highlights the nozzle and the object. A green wavy graphic element is at the bottom of the image.

DHI

Karlsruher Schriften zur Handwerksforschung | Band 08

3D-Druck im Lebensmittelhandwerk

Erfahrungen aus Wissenschaft und Praxis mit der Additiven Fertigung
(Additive Manufacturing)

Esther Stern | Uta Cupok

The logo for the Institut für Betriebsführung im Handwerk (itb) features the lowercase letters 'itb' in a bold, green, sans-serif font. The 'i' and 't' are connected, and the 'b' is slightly larger and more rounded. A green-to-blue gradient is applied to the letters.

itb

Institut für Betriebsführung im Handwerk



Karlsruher Schriften zur Handwerksforschung | Band 08

3D-Druck im Lebensmittelhandwerk

Erfahrungen aus Wissenschaft und Praxis mit der
Additiven Fertigung (Additive Manufacturing)

2025

Das **itb im DHI e. V.** ist ein **Forschungsinstitut** im
Deutschen Handwerksinstitut e. V. (DHI)



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

Herausgeber

itb – Institut für Betriebsführung im DHI e.V., Karlsruhe

Kontakt

itb – Institut für Betriebsführung im DHI e.V.
Unterweingartenfeld 6
76135 Karlsruhe

Fon 0721 / 93 103 – 0
Fax 0721 / 93 103 – 50
Mail info@itb.de
Web www.itb.de

Titelfoto

© itb im DHI e.V.

Karlsruher Schriften zur Handwerksforschung

Band 08 | 1. Auflage, 2025 | Esther Stern, Uta Cupok

ISSN 2698-5756 (Print)
ISBN 978-3-9821317-7-1

Erstellt im Rahmen des Forschungs- und Arbeitsprogrammes des Deutschen Handwerksinstituts 2022/2023.

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung der Herausgeber ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg oder Ähnlichem zu vervielfältigen.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	9
Grußwort	11
Danksagung	13
Einleitung	15
Aufbau	19
1. Technisches Vorwissen	21
1.1 3D-Druck: Eine Verfahrensübersicht für das Lebensmittelhandwerk	21
1.1.1 Materialextrusion	22
1.1.2 Badbasierte Photopolymerisation	23
1.1.3 Freistrahlmateriale Auftrag	24
1.1.4 Pulverbasierte Fertigungsverfahren	25
1.2 Zusammenfassung	26
1.3 Die Prozesskette	26
1.3.1 Design	27
1.3.2 Datenvorbereitung	28
1.3.3 AM-Materialien	29
1.3.4 Nachbearbeitung und Qualitätssicherung	30
2. Additive Fertigung in KMU aus dem Lebensmittelhandwerk	33
2.1 Status Quo und Anwendungsfelder in den Lebensmittelgewerken	33
2.1.1 Das Konditorenhandwerk	35
2.1.2 Das Bäckerhandwerk	38
2.1.3 Das Fleischerhandwerk	41
2.1.4 Weitere Anwendungsfelder im Lebensmittelbereich	45
2.2 Wege zur Geschäftsmodelltransformation	47
2.2.1 Branchen- bzw. lebensmittelunspezifische Vorbetrachtung	47
2.2.2 Digitalisierung und 3D-Druck in den Lebensmittelgewerken	48
2.2.3 Geschäftsmodellentwicklung und -innovationen	52
2.2.4 Anregungen für die Praxis	54

2.3	3D-Druck als Ökosystem	59
2.3.1	Zwei Herangehensweisen	59
2.3.2	Stakeholder	60
3.	Chancen und Risiken für das Lebensmittelhandwerk	63
3.1	Schwierigkeiten und Hürden	63
3.2	Potenziale	65
3.3	Akzeptanz und Nutzung	69
3.4	Rechtliche Aspekte	72
4.	Erstellung von Schulungsmaterialien	77
4.1	Ergebnisse der Bedarfserhebung	77
4.2	Ergebnisse „Schulungsmaterial-Schmiede“	79
4.3	Methodisch-didaktisches Konzept	80
4.4	Lerneinheiten-Beispiele aus Modul 1 und Modul 2	84
5.	Best-Practice-Beispiele aus dem Konditoreihandwerk	97
5.1	Café & Konditorei Baumann	98
5.2	Konditorei Madame Gâteaux	103
5.3	Ourewäller Kuchestubb	107
5.4	Confiserie Reichert	110
6.	Forschungsüberblick	115
	Begriffssammlung	136
	Abkürzungen	144
	Literaturverzeichnis	145
	Zu den Autorinnen und Autoren	155

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	3D-gedruckte Formen für Thermoformen und Silikone	29
Abbildung 2	Beispiele für 3D gedruckte Produkte des Procusini	38
Abbildung 3	Beispiel für Werkzeuge aus dem Projekt 3DiH	39
Abbildung 4	Das magische Dreieck nach Oliver Gassmann.....	53
Abbildung 5	Fahrplan 1 – Vom Produkt zur konkreten Umsetzung	59
Abbildung 6	Fahrplan 2 – Vom Potenzial zur konkreten Umsetzung.	59
Abbildung 7	Beziehungsrelation zwischen den Stakeholdern	61
Abbildung 8	Anforderungen/Wünsche der Betriebe an das Format von Qualifizierungsmaßnahme.....	78
Abbildung 9	Grobkonzept des Schulungsmaterials zum 3D-Lebensmitteldruck	79
Abbildung 10	Feinkonzept des Schulungsmaterials zum 3D-Lebensmitteldruck	81
Abbildung 11	Beispiele für 3D gedruckte Produkte auf Basis verschiedener Lebensmittel.....	86
Abbildung 12	Vier Schritte des 3D Lebensmitteldrucks	87
Abbildung 13	Im mycusini Club erstellte Vorlagen	87
Abbildung 14	Kartusche mit Lebensmittel und Stempel	88
Abbildung 15	Möglichkeiten der Nachbehandlung von gedruckten 3D Objekten im Lebensmittelbereich.....	89
Abbildung 16	Schematischer Ablauf beim 3D-Druck.....	91
Abbildung 17	Unterschiedliche Überhänge	92
Abbildung 18	Überhang Winkel.....	93
Abbildung 19	Modell-Ausrichtung	94
Abbildung 20	Ausrichtung Fläche	94
Abbildung 21	Ausrichtung Fläche	94
Abbildung 22	QR-Code aus Schokolade	95
Abbildung 23	Simple Drucke aus Schokolade.....	96

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Daten zum Lebensmittelhandwerk in Anlage A	34
Tabelle 2	Handwerkszählung 2022.....	35
Tabelle 3	Abhängigkeit der Produktqualität von Nachbearbeitungsprozessen, technischen Parametern des Extrusionsdrucks sowie der Rezeptur des Ausgangsmaterials	40
Tabelle 4	Interne und externe Erfolgsfaktoren	49
Tabelle 5	Forschungsüberblick mit Themenanalyse	132



Prof. Dr. Birgit Ester

Institutsleitung, itb – Institut für Betriebsführung im DHI e. V.

Das itb forscht seit über 100 Jahren für das Handwerk und mit dem Handwerk. Heute – wie damals – erweist sich das Handwerk mit seinen kleinen und mittleren Betrieben als eine tragende Säule der deutschen Wirtschaft. In über 130 Gewerken zählen rund 1 Million Betriebe mit rund 5,568 Millionen Menschen zum Handwerk. Damit sind über 30 % aller Betriebe in Deutschland Handwerksbetriebe (ZDH, Stand 2024).

Die Vielzahl der Gewerke, wie z. B. das Lebensmittelhandwerk, bieten gerade in Zeiten der digitalen Transformation auch für das itb immer wieder neue und spannende Einblicke in Feinheiten der handwerklichen Arbeit, die Herausforderungen und Chancen zur Weiterentwicklung.

Vor drei Jahren haben wir die Forschung zum 3D-Druck im Konditorenhandwerk aufgenommen; einem bis dahin von uns unbearbeiteten Forschungsfeld. Als Privatpersonen kennen wir alle die köstlichen Konditoreiprodukte und wissen die Dienstleistungen für die Erstellung einer individuellen Hochzeits- oder Jubiläumstorte zu schätzen. Was aber steckt im Detail an Know-how und Aufwand dahinter, bis so ein Kunstwerk entsteht?

Und wie lassen sich neue Technologien wie der 3D-Druck mit Lebensmitteln (z. B. Schokolade) in die Handwerkskunst integrieren?

Das vom BMBF geförderte 3DiH-Projekt hat uns ermöglicht, den Stand der Wissenschaft aufzuarbeiten, im Forschungsverbund neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu gewinnen und diese mit Konditoreibetrieben zu erproben. Der vorliegende Band 8 unserer **Karlsruher Schriften zur Handwerksforschung** belegt einmal mehr, wie lohnend es ist, sich gemeinsam mit dem Handwerk intensiv konkreten Forschungsfragen zu stellen. Nicht unerwähnt lassen möchte ich an dieser Stelle, dass auch der kulinarische Genuss bei der Beurteilung der gedruckten Produkte nicht zu kurz kam.

Das Lebensmittelhandwerk zählte Ende 2023 laut ZDH in Deutschland über 32.000 Betriebe; allein die Konditoreien beschäftigen ca. 36.000 Personen (ZDH HWZ, 2022). Ihre Leistungen werden täglich millionenfach in Anspruch genommen. Mit Flexibilität und Kreativität erfüllen sie unsere individuellen Kundenwünsche. Wir dürfen gespannt sein, wie der 3D-Lebensmitteldruck die Branche in Zukunft mitgestalten und prägen wird.



Gerhard Schenk
Präsident des Deutschen Konditorenbundes

Sehr geehrte Damen und Herren,

das Lebensmittelhandwerk – und im speziellen das Konditorenhandwerk – ist von jeher handwerklich geprägt. Hier werden Produkte nach bewährter Tradition buchstäblich mit den Händen erschaffen. Sie werden über Generationen hinweg und nach festen Rezepturen sowie den feinsten Zutaten aus aller Welt gefertigt. Kreativität und Optik spielen eine herausragende Rolle. So entstehen unterschiedlichste Meisterstücke – ja, sogar Kunstwerke!

Die Digitalisierung hat in vielen Bereichen den Alltag erleichtert und ist heute nicht mehr wegzudenken. Anfangs noch als Randerscheinung belächelt, hat sich der 3D-Druck gerade im letzten Jahrzehnt einen festen Platz in den Konditoreien erobert. Inzwischen dringt er mit wachsendem Erfolg in die verschiedensten Bereiche der modernen Konditorei vor. Durch die Möglichkeiten des 3D-Drucks im Lebensmittelbereich erleben wir Konditoreien in der heutigen Zeit einerseits als Traditionalisten und andererseits als experimentierfreudige Erfinder neuer, oft individueller und kunstvoller Kreationen.

Sei es durch den 3D-Lebensmitteldruck mit Schokolade für essbare Skulpturen, Schriftzüge oder Firmenlogos. Oder aber auch im Formenbau für komplexe Strukturen, Gussformen und Schablonen, die mittels des 3D-Drucks auf die individuellen Bedarfe angepasst werden können. Eine völlig neue Art der Kreativität – wenn nicht gar eine neue Welt –, die dem Konditorhandwerk zur Verfügung steht!

Wir als Bundesverband unterstützen in vielfältiger Weise die Initiativen und Projekte, die den 3D-Druck im Konditorhandwerk voranbringen. Damit können wir zeigen, dass die handwerkliche Tradition in Kombination mit dem 3D-Druck viele neue Chancen eröffnet und neue Formen von Kreativität ermöglicht – für ein Handwerk, das mit der Zeit geht und traditionelle Werte wahrt.



Dr. Esther Stern

itb – Institut für Betriebsführung im DHI e. V.

Dr. Uta Cupok

itb – Institut für Betriebsführung im DHI e. V.

Danksagung

Der übergeordnete Dank geht an das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): Ohne die auf das Handwerk zugeschnittene Förderlinie „**Handwerk 4.0: digital und innovativ**“ wären die vorliegenden Forschungsergebnisse nicht möglich gewesen. Mit diesem Forschungsschwerpunkt verfolgt das BMBF das Ziel, die Entwicklung maßgeschneiderter, innovativer und digitaler Technologien im Handwerk voranzutreiben. Die Handwerksunternehmen sollen in die Lage versetzt werden, neuartige oder signifikant verbesserte Handwerksleistungen anbieten und/oder ihre Dienstleistungen deutlich effizienter und nachhaltiger als bisher erbringen zu können.

Insgesamt neun Verbundprojekte sind 2022 unter dem Dach dieser Förderlinie angetreten für ein **Handwerk mit Zukunft** (HaMiZu); in Forschungsgruppen aus unterschiedlichen Branchen arbeiten sie an der Entwicklung maßgeschneiderter, innovativer und digitaler Technologien im Handwerk. Das Verbundprojekt „3D-Druck im Lebensmittelhandwerk“ (3DiH) – dessen Forschungsergebnisse wir hier in Auszügen vorstellen – ist eines davon.

Der Austausch der HaMiZu-Projekte untereinander war inspirierend und lehrreich. Als Meta-Projekt begleitet es die neun Projekte auf ihrem Weg, trägt Spannendes und Lehrreiches aus den Projektverläufen zusammen, vernetzt und ermöglicht einen beständigen Austausch der Projektbeteiligten untereinander sowie mit der Forschung und den Institutionen des Handwerks. Vielen Dank dafür!

Wir danken allen Projektpartnern, die das Projekt 3DiH zu einer erkenntnisreichen und spannenden Forschungsreise gemacht haben. Starke Partner aus der Forschung (RWTH Aachen, Lehrstuhl dap) sowie der Handwerkskammer Koblenz (Zentrum für Ernährung und Gesundheit) haben das Projekt mit ihrem theoretischen und praktischen Know-how und ihrem spezifischen Zugang zur Technologie und den Praxispartnern bereichert. Auch durch die IT-Partner auf Softwareebene (Trinkle 3D GmbH) und Hardwareebene (Print4Taste GmbH) konnten die Erkenntnisse des Projektes gebündelt in konkrete Produkte (wie den 3D-Design-Konfigurator) für Unternehmen fließen. Nicht zuletzt wären die passgenauen Lösungen für das Konditorenhandwerk nicht möglich gewesen durch den Einsatz

und das Engagement der Konditorinnen und Konditoren selbst, die am Projekt mitgewirkt haben. Jeder der vier Betriebe zeigte auf innovative Art und Weise, wie 3D-Druck im Konditorenhandwerk umgesetzt werden kann: Die Konditorei Café Baumann aus Koblenz, die Konditorei Ourewäller Kuchestubb aus Mörtenbach, die Konditorei Madame Gâteaux aus Stolberg und die Confiserie Reichert aus Berlin. Ganz besonderer Dank und auch Respekt gilt deshalb den Konditoreibetrieben, die die Forschungsarbeit aktiv unterstützt, vorangetrieben, kritisch hinterfragt und wertvolle Hinweise und Rückmeldungen gegeben haben.

3D-Druck – ein Gamechanger für das Handwerk?

Die **rasante Weiterentwicklung digitaler Technologien** (z. B. Internet der Dinge (IoT), Big Data, KI) bietet vielfältige Möglichkeiten für die Entstehung neuartiger Wertschöpfungsnetzwerke und für die Aus- und Neugestaltung von Geschäftsmodellen – auch für das deutsche Handwerk. 3D-Druck gilt als eine der vielversprechendsten Technologien.

Die 3D-Druck-Technologie birgt **insbesondere für Handwerksbetriebe große Potenziale** (vgl. u. a. HPI, 2018), wie z. B. Möglichkeiten der individuellen Fertigungen für gewerbliche und private Endkundinnen und Endkunden sowie die Herstellung ergonomischer,

individualisierter Werkzeuge bzw. Werkzeugbestandteile für den eigenen Bedarf. Letztere sorgen dafür, dass die Prozesskette bzw. Wertschöpfungskette nachhaltig verbessert wird. Gleiches gilt, sobald durch den automatisierten Prozess einzelne Kleinst- und Ersatzteile passgenau und zeiteffizient hergestellt werden können. Der 3D-Druck lässt sich jedoch über diverse Einzel- und Individualfertigung hinaus auch für die Serienproduktion nutzen: In etwa dann, wenn ein Prototyp gedruckt wird, der als Vorlage für die Herstellung von Schablonen und Gussformen für die Serienfertigung von Endprodukten dient.



Branchenübergreifender Stand der Anwendung

Wie steht es um den Einsatz, die Akzeptanz und Verbreitung der 3D-Drucktechnologie? Nach dem **EY's Global 3D Printing Report 2019** weisen 63 % von 222 befragten deutschen Unternehmen Erfahrungen mit 3D-Druck- aus – wiederum 13 % planen die Anwendung. War Deutschland im Jahr 2016 statistisch gesehen noch in der Vorreiterposition (vgl. EY's Global 3D Printing Report, 2016), reiht sich die Bundesrepublik 2019 hinter Südkorea, China, Kanada, Frankreich/Belgien und Großbritannien ein. Zum Vergleich: In Südkorea haben 81 % der befragten Unternehmen bereits Erfahrungen mit der additiven Fertigung gesammelt (vgl. EY's Global 3D Printing Report, 2019).¹



1 Die zwei Studien befassen sich mit dem branchenübergreifenden Einsatz der 3D-Drucktechnologie; spezifische Zahlen für die Lebensmittelbranche oder das Lebensmittelhandwerk in Deutschland gehen aus diesen nicht hervor. Nichtsdestotrotz können sie den Status Quo der Anwendung der 3D-Drucktechnologie in Deutschland im Vergleich zu anderen Ländern geben. Eine aktuellere Studie (nach 2019) ist zum aktuellen Zeitpunkt nicht publiziert.

Für die Produktion von Konsumgütern (wie Lebensmittel, Medikamente, Kosmetika, Tabak und Treibstoff), setzten 76 % aller 900 befragten, global verteilten Unternehmen 2019 den 3D-Druck ein (vgl. ebd.).

In nur wenigen Jahren (zwischen 2016 und 2019) hat sich damit die **Anzahl der Unternehmen, die über intensivere Erfahrungen mit dem 3D-Druck verfügen, verdoppelt**. Diese Unternehmen haben spezifische Geschäftsmodelle für die Nutzung von 3D-Druckverfahren entwickelt oder den 3D-Druck in ausgewählten Abteilungen genutzt. Die Zahl der Unternehmen, die 2016 noch zögerlich an die Technologie herangingen, erste Erfahrungen machten und Tests mit der Technologie durchführten, hat sich bis 2019 sogar verdreifacht. 40 % der 2019 befragten Unternehmen setzen dabei insbesondere auf eine In-House-Fertigung und haben hierfür eigene 3D-Drucker erworben.

Der Studie nach ist davon auszugehen, dass die **Zahlen noch weiter steigen** werden und ein internationales Rennen um den großflächigsten Einsatz der 3D-Drucktechnologie gerade erste begonnen hat.

Besonders im Lebensmittelbereich gibt es seit geraumer Zeit technologische Fortschritte hinsichtlich der Implementierung und Nutzung des 3D-Drucks. Die Nachfrage und das Interesse am **3D-Lebensmitteldruck** ist nicht nur auf Seiten der Industrie und Großunternehmen, sondern auch bei Privatkundinnen und Privatkunden gestiegen und nimmt kontinuierlich zu. Doch steht der 3D-Druck in der Lebensmittelherstellung vor **besonderen Herausforderungen**. Um nur eine zu nennen: Lebensmittel verändern ihre Eigenschaften während des Bearbeitungsprozesses, sobald es zu minimalen Temperaturveränderungen kommt. Äußere Einflüsse sind hierbei besonders zu berücksichtigen, da die Fließeigenschaften von Lebensmitteln die Umsetzbarkeit des 3D-Drucks im Lebensmittelbereich maßgeblich bestimmen (vgl. Kreuz BZfE, 2022).

Die ersten klassischen 3D-Drucker wurden nicht für den Druck mit Lebensmittelpasten konzipiert, sondern für die Ausgangsmaterialien Kunststoff (Polymerdruck) und Metalle; viele der im Rahmen dieser Prozesse eingesetzten Substanzen (z. B. organische Lösungsmittel, Vernetzungsmittel) sowie die extremen Temperaturbedingungen sind für den Lebensmittelbereich ungeeignet. Die Herstellung von Lebensmitteln mittels des 3D-Druckers bedarf deshalb spezifischer **Anpassungen der Drucker und Druckvorgänge** an die zu verarbeitenden Lebensmittel bzw. Ausgangsmaterialien (vgl. Godoi et al. 2016). Mittlerweile gibt es auf dem internationalen sowie deutschen Markt einige 3D-Drucker, die dezidiert für den Druck mit Lebensmitteln geeignet sind: Sogenannte 3D-Lebensmitteldrucker.

Begrifflichkeiten

3D-Druck – auch „additive Fertigung“ oder „Additive Manufacturing“ (AM) genannt – bezeichnet **mehrere Fertigungsverfahren**. Im internationalen Sprachgebrauch wird für die 3D-Druck-Fertigungstechnologie die Bezeichnung „Additive Manufacturing“ verwendet. Diese Bezeichnung wurde durch die ASTM International auch als Oberbegriff für alle speziellen additiven Fertigungsverfahren definiert. Diese gruppieren sich in verschiedene Verfahrensklassen, -familien und -arten (vgl. Kunze et al. 2023; siehe **Kapitel 1** des vorliegenden Bandes).

Für den **Lebensmittelbereich** werden oftmals die Begriffe „3D-Lebensmitteldruck“, „3D-Druck von Lebensmitteln“, „3D Food Printing“ oder „Food Printing“ verwendet. Sind 3D-Drucker spezifisch für die Herstellung von 3D-Lebensmitteln konzipiert, nennen sich diese „3D-Lebensmitteldrucker“ oder „Food-Printer“. Eine weitere Bezeichnung stammt von McClements: Er nennt den 3D-Druck, bei dem von unten nach oben eine Skulptur oder Form aus Lebensmittelpaste gedruckt wird, „Food Architecture“ (vgl. McClements 2019, S. 30).

In diesem Band ist die Unterscheidung zwischen „**3D-Druck**“ und „**3D-Lebensmitteldruck**“ entscheidend – letzterer bezeichnet den Druck mit Lebensmitteln und unterscheidet sich von allen anderen 3D-Druckern (z. B. den 3D-Druck mit Kunststoff) durch die Verwendung essbarer Ausgangsmaterialien.

Bereits an dieser Stelle soll betont werden, dass für das **Lebensmittelhandwerk** jedoch nicht etwa nur 3D-Lebensmitteldrucker, die mit essbaren Ausgangsmaterialien drucken, in Frage kommen. Auch 3D-Polymerdrucker lassen sich in verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten einsetzen, um beispielsweise im Formenbau zu unterstützen und Prototypen für die Herstellung von Silikonformen (Serienproduktion) zu erstellen.

Die **Anwendungsmöglichkeiten** des 3D-Lebensmitteldrucks im Lebensmittelhandwerk sind vielfältig. Ebenso vielfältig und unterschiedlich sind der technische Stand sowie die spezifischen Voraussetzungen der Unternehmen des Lebensmittelhandwerks – insbesondere der kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) –, die neue Technologie anzuwenden. In der Forschung ist man sich darüber einig, dass die 3D-Lebensmitteldrucktechnologie noch am Anfang steht; um

die Technologie für Unternehmen wirtschaftlich und technisch attraktiv zu gestalten, braucht es eine breite Grundlagenforschung, sowohl im technischen als auch im betriebswirtschaftlichen Sinne. Ebendiesem Desiderat nimmt sich der vorliegende Band an, um die Fertigungs- bzw. Druckprozesse, technischen Grundlageninformationen, Potenziale und Hürden sowie möglichen Geschäftsmodellinnovationen für das Lebensmittelhandwerk zu beleuchten.

Der achte Band der itb-Schriftenreihe widmet sich schwerpunktmäßig der Frage „Wie kann das Lebensmittelhandwerk die Zukunftspotentiale der 3D-Drucktechnologie für sich nutzen?“ Vor diesem Hintergrund liefert das **erste Kapitel** (Gustavo Melo, Patrick Amato) alle für den Lebensmittelbereich relevanten technischen Basisinformationen, wesentliche Informationen zu gängigen 3D-Druckverfahren und die Darstellung der gesamten Prozesskette.

Das **Kapitel 2** (Esther Stern) gibt Einblicke in die Anwendungsfelder für die Lebensmittelgewerke Konditoren-, Bäcker- und Fleischerhandwerk. Dabei werden vielfältigen Potenziale der Geschäftsmodelltransformationen mithilfe der 3D-Drucktechnologie bei Handwerksbetrieben sowie die Vorteile der Netzwerkbildung verschiedener Stakeholder als tragende Säule eines ‚3D-Druck-Ökosystem‘ aufgezeigt.

Im **dritten Kapitel** (Esther Stern) werden die Chancen und Risiken bzw. mögliche Schwierigkeiten und Hürden, aber auch die Potenziale dargestellt und abgewogen. Darüber hinaus werden rechtliche Aspekte für den Einsatz der Technologie im Lebensmittelhandwerk beleuchtet.

Das **vierte Kapitel** (Uta Cupok) gibt einen Einblick in das speziell zum Zweck der Wissensvermittlung im Lebensmittelhandwerk konzipierte und erprobte Schulungsmaterial zum Thema 3D-Druck.

In einem weiteren, **fünften Kapitel** (Uta Cupok) werden anhand von vier konkreten Praxisbeispielen verschiedene Herangehensweisen an das Thema 3D-Druck im Lebensmittelhandwerk bzw. in KMU des Konditorenhandwerk verdeutlicht.

Das **Kapitel 6** (Esther Stern) resümiert die Erkenntnisse aus der jüngsten Forschung, skizziert den sich daraus ergebenden weiteren Forschungsbedarf und listet alle für das Lebensmittelhandwerk relevanten Publikationen in einem Gesamtüberblick auf. Der Forschungsüberblick dient der Orientierung innerhalb der heterogenen Forschungslandschaft und kann dabei unterstützen, einen raschen Zugang zu spezifischen Informationen rund um die 3D-Drucktechnologie im Kontext des Lebensmittelhandwerks zu erhalten.

Am **Ende** der Schriftenreihe wird das wichtigste Vokabular bzw. die grundlegenden Begriffe der 3D-Druck-Fachwelt subsumiert; es bietet vor allem für Einsteigerinnen und Einsteiger eine solide Basis der gängigsten Fachbegriffe, um sich mit der 3D-Drucktechnologie vertraut zu machen.

1. Technisches Vorwissen



Patrick Amato

Mittelstand-Digital Zentrum Handwerk

Gustavo Melo

RWTH Aachen - Digital Additive Production (DAP) / Aachen Center for Additive Manufacturing (ACAM)

Das folgende Kapitel beinhaltet wichtiges Grundlagenwissen zur Technik der 3D-Druck-technologie. Beginnend mit einem ausführlichen Überblick über die verschiedenen Verfahren der 3D-Druck-Fertigung im Lebensmittelhandwerk geht es weiterhin um die Prozesskette, die Erstellung von Design-Vorlagen, die Datenverarbeitung, die verschiedenen Ausgangsmaterialien sowie die Nachbereitung von Produkten und die Qualitätssicherung.

1.1 3D-Druck: Eine Verfahrensübersicht für das Lebensmittelhandwerk

Die additive Fertigung stellt eine essenzielle Komponente innerhalb des digitalen Fertigungskosmos dar und ermöglicht es auch dem Handwerk, **hochkomplexe Geometrien sowie individualisierte Produkte mit hoher Effizienz** herzustellen. Besonders im Lebensmittelhandwerk gestaltet sich die Implementierung digitaler Prozesse herausfordernd, da die vollständige Integration der digitalen Prozesskette – von der digitalen Konstruktion über die automatisierte Produktion bis hin

zur finalen Produktbereitstellung – derzeit nur vereinzelt etabliert ist.

Die additive Fertigung kann als **Einstiegs-technologie** dienen, um Unternehmen für die Nutzung weiterer digitaler Fertigungsmethoden zu sensibilisieren und deren Potenziale gezielt zu erschließen. Neben den in den folgenden Kapiteln 2-5 angesprochenen, vielfältigen Anwendungen im Lebensmittelhandwerk eröffnet die Auseinandersetzung mit diesen Technologien auch weitergehende Möglichkeiten zur Nutzung von CAD-Daten für konventionelle digitale Fertigungsverfahren wie CNC-Fräsen, Wasserstrahlschneiden oder Laserschneiden. Durch die Integration und Kombination solcher Technologien lassen sich Fertigungsprozesse optimieren, Materialeinsparungen erzielen und neue Marktsegmente erschließen.

Obwohl die Vielfalt, der auf dem Markt verfügbaren 3D-Druckverfahren für Einsteiger unübersichtlich erscheinen kann, lassen sich alle existierenden Verfahren gemäß ISO/ASTM 52900:2021 in **sieben übergeordnete Technologien** einordnen:

- **Materialextrusion**
Material Extrusion, MEX
(z. B.: Fused Deposition Modeling, FDM)
- **Badbasierte Photopolymerisation**
Vat Photopolymerization, VPP
(z. B.: Stereolithografie, SLA)
- **Freistrah-Materialauftrag**
Material Jetting, MJT
(z. B.: PolyJet®)
- **Freistrah-Bindemittelauftrag,**
Binder Jetting, BJT
(z. B.: HP Metal Jet®)
- **Pulverbettbasiertes Schmelzen**
Powder Bed Fusion, PBF
(z. B.: Selektives Lasersintern, SLS)
- **Materialauftrag mit gerichteter**
Energieeinbringung
Directed Energy Deposition, DED
(z. B.: Extremes Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen, EHLA)
- **Schichtlaminierung**
Sheet Lamination, SHL
(z. B.: Laminated Object Manufacturing, LOM)

Diese Verfahren unterscheiden sich hinsichtlich der verwendeten Materialien, der Art der Materialzuführung sowie der resultierenden mechanischen und chemischen Eigenschaften der gefertigten Objekte. Zudem variieren sie erheblich in Bezug auf technische Komplexität, Anschaffungskosten und Verfügbarkeit.

Trotz der großen Vielfalt innerhalb der einzelnen Verfahren sind nicht alle für jeden Anwendungsfall gleichermaßen geeignet. Besonders im Lebensmittelkontext sind Einschränkungen zu berücksichtigen, beispielsweise in Bezug auf die Lebensmittelechtheit der Materialien oder hinsichtlich hygienischer Anforderungen an die Produktionsumgebung.

Es lässt sich eine **Abstufung der Komplexität** feststellen: Materialextrusion (FDM) und Photopolymerisation (SLA) gelten als besonders anwenderfreundlich und vielseitig. Pulverbasierte Verfahren – sowohl mit Bindemitteln als auch mit Laserschmelzverfahren – eignen sich aufgrund ihrer höheren Komplexität für fortgeschrittene Anwenderinnen und Anwender, bieten jedoch Potenzial für spezifische Anwendungen im Lebensmittelhandwerk. Aufgrund derzeit begrenzter Marktlösungen im Bereich des pulverbasierten Lebensmitteldrucks ist dieser Ansatz allerdings weniger verbreitet.

Technologien wie die Directed Energy Deposition (DED), Material-Jetting (MJ) oder Schichtlaminierung (LOM) sind derart spezialisiert, dass sie für den direkten **Einsatz in Lebensmittelbetrieben** kaum infrage kommen. Dennoch kann ein fundiertes Verständnis dieser Techniken von strategischer Bedeutung sein, insbesondere in Kooperation mit externen Dienstleistern zur Fertigung hochpräziser oder speziell funktionalisierter Bauteile.

Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden die für das Lebensmittelhandwerk besonders relevanten Verfahren ausführlicher beschrieben.

1.1.1 Materialextrusion, MEX

Das Verfahren der Materialextrusion, auch bekannt als Fused Deposition Modeling (FDM), **gehört zu den am weitesten verbreiteten und zugänglichsten Methoden** der additiven Fertigung. Es beruht auf dem schichtweisen Auftrag eines thermoplastischen oder pastösen Werkstoffs, der durch eine beheizte Düse extrudiert und auf einer Bauplattform Schicht für Schicht abgelegt wird. Während das Material aufgebracht wird, kühlt es ab und verfestigt sich, sodass eine stabile Struktur entsteht.

Die **Systeme mit der größten Verbreitung** sind die typischen Desktop-Geräte zum Verdrucken von Kunststoffen im Rollenformat. Der Trend bewegt sich mittlerweile zur Bauform mit geschlossenem Gehäuse, was neben dem Verdrucken der einfachen Standardkunststoffe wie PLA (Polymilchsäure) und PETG (polyethylenterephthalat-glykolmodifiziert) auch das **Verarbeiten anspruchsvoller Kunststoffe** wie ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol), ASA (Acrylnitril-Styrol-Acrylat) oder PA (Polyamid = Nylon) ermöglicht, die für mechanisch belastete Teile eingesetzt werden können.

Die **Vielseitigkeit und Dimensionsskalierbarkeit** dieses Verfahrens ermöglicht die Verarbeitung einer breiten Palette von Materialien, die von herkömmlichen Kunststoffen über Verbundwerkstoffe, Keramiken, Beton, biologisches Gewebe bis hin zu Lebensmitteln reichen.

Im **Lebensmittelhandwerk** kann die Materialextrusion insbesondere für den direkten Druck essbarer Stoffe eingesetzt werden. Dabei kommen beispielsweise speziell temperierbare Druckköpfe für Schokolade oder pastöse Materialien wie Marzipan, Zuckerglasuren oder Pürees zum Einsatz. Neben der direkten Lebensmittelverarbeitung eignet sich das FDM-Verfahren auch für die Herstellung von Hilfsmitteln, Werkzeugen, Formen oder Modellen aus Kunststoffen, die anschließend als Gießformen oder Modellvorlagen verwendet werden können. Dabei ist zu beachten, dass der direkte Kontakt gedruckter Kunststoffteile mit Lebensmitteln hygienische Herausforderungen mit sich bringt, insbesondere aufgrund der Materialporosität und der Schichtstruktur, die eine gründliche Reinigung erschweren. Zudem können bei bestimmten Kunststoffen potenzielle Materialmigrationen auftreten,

weshalb der Einsatz zertifizierter, lebensmittelechter Materialien essenziell ist.

Aufgrund technologischer Fortschritte sind heute leistungsfähige FDM-Drucker bereits für Investitionen unter 1.000 € erhältlich. Diese Maschinen decken viele allgemeine Anwendungsfälle ab und ermöglichen den wirtschaftlichen Einstieg in die additive Fertigung. Spezialisierte FDM-Drucker, etwa für den Druck von Schokolade oder anderen Lebensmitteln, sind aufgrund ihrer spezifischen Anforderungen derzeit jedoch noch mit höheren Anschaffungskosten verbunden.

1.1.2 Badbasierte Photopolymerisation, VPP

Das Verfahren der Photopolymerisation umfasst die Stereolithografie (SLA) sowie das Digital Light Processing (DLP) und basiert auf der gezielten Aushärtung flüssiger Photopolymere durch eine Lichtquelle, typischerweise UV-Laser oder Projektionssysteme. Dabei wird das Harz schichtweise polymerisiert, sodass hochpräzise und feindetaillierte Strukturen entstehen. Laser, die **überwiegend in professionellen Druckern** zum Einsatz kommen, arbeiten punktbasiert mit vergleichsweise hoher Lichtintensität, während DLP-Systeme durch die flächige Belichtung der gesamten Druckschicht einen Geschwindigkeitsvorteil bieten.

Obwohl die direkte Verwendung für den **3D-Lebensmitteldruck** aufgrund der chemischen Zusammensetzung der Photopolymere ausgeschlossen ist, findet das Verfahren insbesondere in der Herstellung von Präzisionsformen für den Schokoladen- und Zuckerwarenbereich Anwendung. Die mithilfe dieser Technologie gedruckten, hochaufgelösten Modelle sind primär für die Anfertigung von Formen zur Weiterver-

arbeitung im Gussverfahren geeignet. Da Standardharze potenzielle Materialmigration aufweisen können, sollten entweder entsprechend zertifizierte Materialien verwendet oder durch den Zwischenschritt über den Formenbau ein direkter Kontakt mit Lebensmitteln vermieden werden. Hierfür eignen sich beispielsweise die Herstellung von Silikonformen oder das Vakuumtiefziehverfahren – beides sind etablierte Methoden für Schokoladen- oder Zuckergussformen.

Die Präzision des Verfahrens bringt gewisse **Herausforderungen** mit sich: Ein flüssiger Kunststoff als Ausgangsmaterial bedeutet, dass die Detailgenauigkeit wesentlich von der Genauigkeit der Belichtung abhängt. Bei aktuellen Belichtungsmasken auf Basis von LCD-Bildschirmen sind Werte von 18 bis 50 Mikrometern nicht ungewöhnlich. Nach dem Druckprozess sind eine anschließende Reinigung und Nachbelichtung zum Erreichen der Endfestigkeit des Bauteils unumgänglich. Zum Drucker gehört daher stets ein ergänzendes Ökosystem aus Waschgerät und UV-Licht-Kammer. Für die Reinigung der Teile wird meist Isopropanol oder ein ähnlicher Alkohol eingesetzt, was – zusätzlich zu den Harzen selbst – einen gut belüfteten Arbeitsplatz erfordert, getrennt von der Lebensmittelverarbeitung.

Einsteigerdrucker für die Stereolithografie gehören zu den kostengünstigeren Geräten; jedoch müssen die Zusatzgeräte für das Waschen und Nachbelichten mit eingeplant werden. Dennoch ist mit Investitionen unter 1.000 € ein Einstieg in diese Technologie möglich.

1.1.3 Freistrah-Materialauftrag, MJT

Das Material Jetting (MJ) ist ein hochpräzises additives Fertigungsverfahren, bei dem flüssige Materialien wie Photopolymere oder Wachse durch zahlreiche feine Düsen eines Druckkopfes schichtweise auf eine Bauplattform aufgetragen und anschließend mittels UV-Licht oder Wärme ausgehärtet werden. Dieses Verfahren ermöglicht die **Herstellung von Objekten mit außergewöhnlicher Detailgenauigkeit** und bietet die einzigartige Fähigkeit, mehrere Materialien und Farben innerhalb eines einzigen Druckvorgangs zu kombinieren. Im Gegensatz zur Stereolithografie (SLA), die auf der Aushärtung eines Photopolymers in einem Harzbad basiert, zeichnet sich das Material Jetting durch die Möglichkeit aus, verschiedene Materialien simultan zu verarbeiten, was die Produktion realitätsnaher Prototypen und hochpräziser Modelle, beispielsweise für den Formenbau oder 3D-Porträts, erleichtert.

Aufgrund der chemischen Eigenschaften der verwendeten Photopolymere ist das Material Jetting **nicht für den direkten Kontakt mit Lebensmitteln geeignet**. Dennoch findet es Anwendung in der Herstellung von Prototypen oder Formen, die anschließend für den Guss von lebensmittelechten Materialien genutzt werden können. Die Fähigkeit, mehrere Materialien und Farben in einem einzigen Druckprozess zu verarbeiten, ermöglicht es Designern und Ingenieuren, realitätsnahe Prototypen zu erstellen, die das Endprodukt genau simulieren. Die Anwendungsfälle ähneln somit jenen der Stereolithografie, durch die Mehrfarbigkeit ist das Verfahren jedoch eher für Endprodukte oder Designprototypen interessant.

Die Schriftenreihe „**Karlsruher Schriften zur Handwerksforschung**“ des Instituts für Betriebsführung im DHI e. V. (itb) veröffentlicht Forschungsarbeiten mit vertieftem Bezug zum Handwerk. Sie greift die für **kleine und mittlere Unternehmen (KMU)**, speziell Handwerksbetriebe, relevante gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklungen auf, um wissenschaftliche Erkenntnisse in die Breite der KMU-Forschung und des Handwerks zu tragen. So informiert das itb zu aktuellen Forschungsergebnissen aus den Bereichen Produkt- und Dienstleistungsinnovationen, Organisations- und Führungsentwicklung, Arbeitsgestaltung und Digitalisierung, Energie und Nachhaltigkeit. Die Schriftenreihe leistet damit einen Beitrag zum Wissensaustausch mit der interessierten Fachwelt und zum Wissenstransfer in die kleinen und mittleren Betriebe, speziell des Handwerks.

Nach Eröffnung der Schriftenreihe zum 100-jährigen Bestehen des itb im Jahre 2019 liegt hiermit **Band 8** der Reihe vor. Die 3D-Drucktechnologie revolutioniert Produktionsprozesse – auch im Handwerk! Die großen Herausforderungen unserer Zeit, wie der demografische Wandel, die Veränderungen in der Arbeitswelt und der Fachkräftemangel – um nur einige zu nennen –, verlangen vom Handwerk einiges ab. Die 3D-Drucktechnologie bietet – so zeigt der vorliegende Band – große Potenziale, um mit diesem Wandel Schritt zu halten. Erstmals werden technische Grundlagen zu den Druckverfahren und dem Druckprozess, Chancen und Risiken, konkrete Tools sowie Praxisbeispiele zusammengetragen, um die KMU aus dem Lebensmittelhandwerk aktuell und fundiert über Geschäftsmodelltransformationen und Innovationen im Betrieb zu informieren.

ISSN 2698-5756 (Print)
ISBN 978-3-9821317-7-1

Weitere Informationen unter www.itb.de

Forschen für das Handwerk.