

3D-Druck protein- und stärkebasierter Materialien zur Herstellung definierter Lebensmitteltexturen



Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle(n):	Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V. (DIL), Quakenbrück Dr. Volker Heinz/Dr. Volker Lammers Technische Universität München - School of Life Sciences Forschungsdepartment Life Science Engineering Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie, Freising Prof. Dr. Thomas Becker/Thekla Alpers
Industriegruppe(n):	Verband der Getreide-, Mühlen- und Stärkewirtschaft e. V. (VGMS), Berlin VDMA-Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen e. V., Frankfurt Verband 3DDruck e. V., Berlin Weihenstephaner Institut für Getreideforschung e. V. (WIG), Freising
Projektkoordinator:	Dr. Wolfgang Kühnl The Family Butchers Nortrup GmbH & Co. KG, Nortrup
Laufzeit:	2018 - 2022
Zuwendungssumme:	€ 499.330,--

Ausgangssituation

Das junge Produktionsverfahren 3D-Druck ist im Zusammenhang mit der Herstellung von Lebensmitteln von zunehmendem wirtschaftlichen Interesse. Der revolutionäre Fertigungsprozess schafft Unabhängigkeit von fertigungsbedingten Geometrien sowie komplexen Herstellungsprozessen. Für die Lebensmittelindustrie eröffnen sich somit komplett neue Texturierungsmöglichkeiten. Grenzen sind jedoch bisher bei der Auswahl von geeigneten Druckmaterialien gesetzt. Bis dato werden lediglich Lebensmittel verarbeitet, die aufgrund ihrer hohen Viskosität Formstabilität gewährleisten, wodurch die Auswahl der Materialien entscheidend limitiert ist. Insbesondere stärke-, aber auch eine Vielzahl proteinbasierter Lebensmittel-Matrizes sind aufgrund der mangelnden Möglichkeiten zur internen Formstabilisierung gedruckter Strukturen im laufenden Druck bisher materialbedingt nur begrenzt verarbeitbar. Diese Limitierungen könnten durch eine geeignete thermische Behandlung aufgehoben werden. Damit würde eine kontrollierte Umstrukturierung der formgebenden Elemente in den Druckmaterialien erreicht, wodurch insbesondere die Herstellung komplexer Strukturen möglich wäre. Hierdurch könnte auch die additive Fertigung gashaltiger Lebensmittel-Matrizes möglich werden, deren Textur insbesondere durch ihre Porenverteilung definiert wird (ähnlich einer Brotkrume) oder die definierte Strukturierung proteinhaltiger Lebensmittel-Matrizes zu faserartigen Strukturen erfolgen (ähnlich einem Fleischersatzprodukt). Darüber hinaus bietet der Lebensmittel-3D-Druck durch seinen schichtweisen Strukturaufbau neue Möglichkeiten zur Erzeugung von unterschiedlichen Texturen, die in dieser Form bislang noch nicht verfügbar sind.

Das Vorhaben basierte auf der Hypothese, dass mittels eines schichtweisen Aufbaus und einer geeigneten thermomechanischen Stabilisierung hochdefinierte Lebensmitteltexturen aus protein- und stärkehaltigen Materialien in einem 3D-Drucker designt werden können. Primäres Ziel des Forschungsvorhabens war es dabei, eine allgemeine Definition und Messmethodik der Printability für Lebensmittel-basierte Druckmaterialien festzulegen. Die Printability spiegelt die Eigenschaften eines Materials wider, ein fehlerfreies Druckbild (Mono- und Multilayer, erfasst mittels 3D-Scanner) zu ermöglichen und setzt eine geeignete Verflüssigungs- und Verfestigungskinetik sowie eine ausreichende Adhäsivität zwischen den Schichten voraus. Die rheologischen Eigenschaften des Materials sollten dabei zur Vorhersage der Printability genutzt werden. Final sollten Möglichkeiten einer gezielten Texturierung von Lebensmittel anhand von faserartigen/offenporigen Produkten in Form einer Machbarkeitsstudie aufgezeigt und Struktur-Textur-Beziehungen ermittelt werden.

Forschungsergebnis

Im Rahmen des Vorhabens wurden von Forschungsstelle 1 (DIL) proteinbasierte Lebensmittelmaterialien untersucht. Hierbei wurde zunächst Pastateig als Basis-Referenzsystem für die Charakterisierung der Druckmaterialien gewählt. Mit Hilfe der erhöhten Zugabe von pflanzlichen Proteinen (10, 30 und 50 %) fand der Übergang zu primär proteinbasierten Modellsystemen statt. Hierbei kam es bereits bei geringen Substitutionsanteilen (10 %) zu geringeren Festigkeiten während der Herstellung. Die Stabilisierung der Teigmassen durch höhere Wasseranteile, bedingt durch die höhere Wasserbindungskapazität der Proteine, führte jedoch auch zu einer zunehmenden Teigerweichung. Mit der Entwicklung einer thermomechanischen Vorbehandlung (Heißextrusion) konnte bei erhöhten Temperaturen (70 - 100 °C), aufgrund der auftretenden Proteindenaturierung bzw. -vernetzung bei Abkühlung, eine für den 3D-Druck geeignete Konsistenz erzielt werden. Für die prozessnähere Analyse der Fließeigenschaften der Druckmaterialien fand der Übergang zur Charakterisierung der Protein-Wasser-Gemische im Druckprozess mit Hilfe einer Inline-Breitschlitzrheometerdüse statt. Im Gesamtsetup für den proteinbasierten 3D-Druck entstand somit ein Aufbau bestehend aus: Doppelschneckenextruder (Preprocessing), Rheometerdüse, Druckkopf mit 3 mm Düse und 3D-Druckportal als verfahrbarer Drucktisch. Bei Produkttemperaturen bis 93 °C konnten hiermit für Erbsenproteinisolat, als im Projekt fokussiertes, repräsentatives Protein, gesteigerte Festigkeiten bzw. Stabilitäten der 3D-Objekte mittels mikroskopischer Strukturanalysen, viskoelastischer Materialcharakteristika und Texturanalysen aufgezeigt werden. Im Vergleich zur Nassextrusion (HME) konnten jedoch durch geringere Festigkeiten und keiner ausgeprägten Faserausbildung Grenzen des Druckeraufbaus für das Texturierungspotential der 3D-gedruckten Multilayerstrukturen an Forschungsstelle 1 aufgezeigt werden.

In Forschungsstelle 2 (TUM) wurde ein stärkebasiertes Lebensmittelmaterial bestehend aus Weizenstärke und Sojaprotein-Isolat untersucht. Darüber hinaus wurden die Eigenschaften der Standardrezeptur mit verschiedenen Hydrokolloiden (MC, HPMC, Xanthan, Alginat, Stärke) verändert, um unterschiedliche Netzwerkeigenschaften zu simulieren. Die rheologische Charakterisierung der Materialien ergab, dass die für den 3D-Druck notwendigen Eigenschaften (Scherverdünnend, Fließgrenze) von allen Rezepturen erfüllt werden und sie somit prinzipiell druckbar sind. Dabei hat sich gezeigt, dass je stabiler die Netzwerkeigenschaften sind, desto höher ist die Fließgrenze und desto höher ist die Stabilität der gedruckten Objekte. Wird die Fließgrenze allerdings zu hoch und das Material zu fest, lässt es sich nicht mehr extrudieren. Neben der rheologischen Charakterisierung der Materialien wurde ein flächiger IR-Strahler auf dem Gehäuse des Druckers installiert, um eine definierte Erhitzung der Druckobjekte zu ermöglichen. Die Nachbehandlung mittels IR-Strahler ermöglicht eine Verbesserung der Druckqualität durch eine Stabilisierung der Druckobjekte nach dem Druck. Durch die Variation der Strahlerintensität soll somit unterschiedliche und produkttypische Texturen ermöglicht werden. Im Rahmen des Vorhabens konnte gezeigt werden, dass der Verkleisterungsgrad der Stärke in den Druckobjekten stark von der Intensität der Nachbehandlung abhängt. Insgesamt konnte gezeigt werden, dass je höher die Strahlerintensität ist, desto früher und desto vollständiger verkleistert die Stärke (bis zu 95 %). Durch die Ergebnisse dieser Versuche kann die Textur der gedruckten Objekte gezielt eingestellt und es können somit Texturen von handelsüblichen Produkten erreicht werden. Zuletzt wurde durch die Variation der Infill-Muster der Druckobjekte die Festigkeit in Abhängigkeit der Füllichte bestimmt. Die Ergebnisse zeigten, dass die Festigkeit der

gedruckten Muster von der Füllichte abhängt. Je größer die Porosität der Druckobjekte ist, desto geringer ist die Festigkeit. Dies konnte auch in sensorischen Untersuchungen bestätigt werden, wodurch sich die Schaffung verschiedener Textureindrücke mittels Druckaufbau bestätigt hat. Ein kombinierter 3D-Aufbau beider Forschungsstellen (Inline-Rheologie und Image Processing) ermöglichte die kontinuierliche Verarbeitung und Detektion des Übergangs zu formstabilen Teigmassen; diese könnten als Basis für zukünftige automatisierte Systeme dienen.

Wirtschaftliche Bedeutung

Der 3D-Druck ist eine vielversprechende Technologie, die in zunehmendem Maße auch im Lebensmittelbereich eingesetzt wird. Die Auswahl an druckbaren Lebensmitteln ist momentan jedoch, insbesondere für stärke- aber auch proteinbasierte Materialien, begrenzt.

Die Ergebnisse des Vorhabens liefern anhand der innovativen Herangehensweise eines thermischen Pre- und Postprocessings neue Wege zur Stabilisierung von stärkebasierten Lebensmitteln (ähnlich Backwaren) und proteinbasierten Lebensmitteln (wie z.B. Fleischersatzstoffe) im 3D-Druck. Hierbei wurde für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) eine Basis für individuelle, firmenspezifische Produktentwicklungen aufgezeigt, mit denen sich diese Firmen vom Massenmarkt abheben können. Momentan ist die Technologie noch auf eine Einzel- bzw. Prototypenherstellung fokussiert, im Rahmen des Vorhabens wurde jedoch zusätzlich das Potential einer Serienproduktion durch eine kontinuierliche Materialzufuhr betrachtet. Auf Basis der Erkenntnisse könnte somit zukünftig auch ein Konzept zur automatisierten Serienproduktion entwickelt werden. Hierdurch profitieren besonders KMU aus dem Bäckerei- und Konditoreibereich, die firmenspezifische Produkteigenschaften herstellen können. Zudem könnten sich durch die Implementierung und Neuentwicklung von 3D-Druck-Systemen mit integrierten Vor- bzw. Nachbehandlungseinheiten für den Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus neue Absatzwege für Lebensmittel-3D-Drucker ergeben.

Publikationen (Auswahl)

1. FEI-Schlussbericht 2022.
2. Heckl, M. P., Korber, M., Jekle, M., & Becker, T.: Relation between deformation and relaxation of hydrocolloids-starch based bio-inks and 3D printing accuracy. *Food Hydrocoll.* 137, 108326, (2023).
3. Heckl, M., Jekle, M., & Becker, T.: Kommt das Brot der Zukunft aus dem 3D Drucker?. *brot+backwaren* (Sonderedition: Automatisierung, Forschung und Technologie), 123-133 (2022).
4. Heckl, M., Jekle, M. & Becker, T.: 3D printing: Will we 3D print the bread of the future? (Spec. Ed.) *Baking+biscuit Intern.* 112 (2021).
5. Leonhardt, L. & Lammers, V.: 3D-Druck von protein- und stärkebasierten Materialien zur Herstellung definierter Lebensmitteltexturen. *Jahresb. 2020/21, DIL Quakenbrück 90* (2020/21).
6. Lammers, V.: 3D-Druck von protein- und stärkebasierten Materialien zur Herstellung definierter Lebensmitteltexturen. *Jahresb. 2019/20, DIL Quakenbrück 72* (2019/20).

Weiteres Informationsmaterial

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V. (DIL)
Prof.-von-Klitzing-Straße 7, 49610 Quakenbrück
Tel.: +49 5431 183-232
Fax: +49 5431 183-200
E-Mail: v.heinz@dil-ev.de

Technische Universität München
School of Life Sciences
Forschungsdepartment Life Science Engineering

Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Weihenstephaner Steig 20, 85354 Freising
Tel.: +49 8161 71-3261
Fax: +49 8161 71-3883
E-Mail: tb@tum.de

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)
Godesberger Allee 125, 53175 Bonn
Tel.: +49 228 3079699-0
Fax: +49 228 3079699-9
E-Mail: fei@fei-bonn.de

Förderhinweis

... ein Projekt der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)

Gefördert durch:



Das o. g. IGF-Vorhaben der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Godesberger Allee 125, 53175 Bonn, wird/wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Bildnachweis - Seite 1: © Jörg Sarbach

Stand: 14. Januar 2025