

Oberflächendesign makroskopisch strukturierter Verarbeitungsoberflächen zur Adhäsionsreduktion von Teigen



Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle(n):	Technische Universität München - School of Life Sciences Forschungsdepartment Life Science Engineering Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie Prof. Dr. Thomas Becker/Thekla Alpers
Industriegruppe(n):	VDMA-Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen e. V., Frankfurt Weihenstephaner Institut für Getreideforschung (WIG), Freising Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e. V. (AGF), Detmold
Projektkoordinator:	Dr. Michael Betz Albert Handtmann Maschinenfabrik GmbH & Co. KG, Biberach
Laufzeit:	2021 – 2023
Zuwendungssumme:	€ 239.853,--

Ausgangssituation

Entlang der Prozesskette der Backwarenherstellung tritt Teig mit verschiedenen Verarbeitungsoberflächen in Kontakt. Dies führt in unterschiedlichem Maße zu Anhaftungen an den Oberflächen der verschiedenen Werkstoffe, beginnend bei den Knetkesseln und Teigteilern aus Edelstahl über Transportbänder und Gärträger aus Kunststoffen oder Textilien. Dieses Anhaften ist auf die Teigadhäsion zurückzuführen. Das Phänomen ist für die Produktion von Backwaren teilweise notwendig, z. B. um das Kneten oder Transportieren von Teiglingen zu ermöglichen. Allerdings haften Teige oftmals unerwünscht an den Verarbeitungsoberflächen und es verbleiben auf diesen Teigreste. Diese Verunreinigungen machen aufwändige Reinigungs- und Austauscharbeiten von Materialien und Werkstoffen notwendig, die wiederum unerwünschte Produktionsstopps und Produktverluste verursachen. Darüber hinaus können verbleibende Teigreste zu einer mikrobiologischen Kontamination der Oberflächen führen, die ein Hygienesiko darstellt.

Um Teiganhaftungen an den verschiedenen Verarbeitungsoberflächen zu reduzieren, arbeiten Backbetriebe häufig mit Hilfsmitteln, wie Streumehl. Ein zu hoher Streumehleinsatz bedeutet jedoch einen höheren Materialaufwand und kann zu Problemen in der Anlage sowie zur Minderung der Qualität durch Streumehlklopfen auf den Produkten führen. Ein weiterer Ansatz zur Reduktion der Teigadhäsion ist die Einstellung der Teigklebrigkeits über die Eigenschaften bzw. die Zusammensetzung des Teiges oder über die Prozessparameter, wobei diese Anpassungen durch Einflüsse auf die Endproduktqualität begrenzt sind. Eine optimale Steuerung der Teigadhäsion ist mit diesen Ansätzen bislang nicht möglich. Deshalb müssen nach regelmäßigen Zeiträumen die Verarbeitungsoberflächen gereinigt, gewartet oder ausgetauscht werden.

Mittlerweile werden in der Praxis Teiganhaftungen auch mittels makroskopisch strukturierter Oberflächen verminder. Strukturierte Oberflächen ermöglichen eine Reduktion der realen Kontaktfläche, d. h. der

Berührungspunkte zwischen dem Teig und der Verarbeitungsoberfläche, was zu einer geringeren Fläche zur Ausbildung von Wechselwirkungen, wie der Adhäsion, führt. Allerdings sind hierbei die genauen Zusammenhänge zwischen der Gestaltung und der Auswirkung auf die Teigadhäsion bislang nicht bekannt, da es sich aufgrund des viskoelastischen Verhaltens des Teiges um einen materialseitig und zeitlich abhängigen Vorgang handelt.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, die Kontaktflächenausbildung zu untersuchen und zeitaufgelöst zu analysieren, um Abhängigkeiten zwischen makroskopisch strukturierten Oberflächen und Teigeigenschaften in Bezug auf die Teigadhäsion aufzuklären. Das Vorhaben basiert auf der Hypothese, dass die Adhäsion zwischen einer Verarbeitungsoberfläche und einem Weizenteig von der sich über die Kontaktzeit ausbildenden realen Kontaktfläche bestimmt wird und diese Kontaktfläche wiederum von der Oberflächentopographie (mikroskopische Rauheit und makroskopischen Gestalt) der Verarbeitungsoberfläche, der Rheologie des Teiges sowie der Kontaktzeit beeinflusst wird.

Forschungsergebnis

Ausgehend von der Arbeitshypothese, dass die Adhäsion zwischen einer Verarbeitungsoberfläche und einem Weizenteig von der sich über die Kontaktzeit ausbildenden realen Kontaktfläche bestimmt wird, wurde diese unter Variation der strukturierten Oberfläche als auch des Teigsystems untersucht. Die zeitaufgelöste Analyse der Kontaktfläche zielt darauf ab, die Beziehung zwischen makroskopisch strukturierten Oberflächen und Teigeigenschaften in Bezug auf die Teigadhäsion zu untersuchen. Unter den verschiedenen strukturierten Oberflächen zeigte insbesondere die Geometrie „Noppe“ bei langen Kontaktzeiten ein hohes Potential, die Kontaktfläche und die Haftkraft zu reduzieren. In diesem Fall scheint die tangentiale Kraftrichtung eine leichtere Ablösung zu begünstigen.

Bei der Betrachtung des Einflusses der Rauheit konnten die in der Simulation ermittelten Effekte, welche zeigten, dass die mikroskopische Rauheit einen geringeren Einfluss im Vergleich zur makroskopischen Gestaltung aufweist, sowohl im Einfließ- als auch Adhäsionsverhalten bestätigt werden. Für die Variation der initialen Auflagefläche konnte gezeigt werden, dass das Adhäsionsverhalten in Hinsicht auf Haftkraft und Haftweg beeinflusst wurden und eine geringere initiale Auflagefläche zu niedrigeren Werten in der Adhäsionsanalyse führten. Im Umkehrschluss nahm die Haftkraft mit steigender initialer Auflagefläche sowie über die Kontaktzeit zu. Die ausgewählten Gestaltungsvariationen von Winkel und Abstand oben innerhalb der Geometrie „Pyramide“ zeigten hingegen kaum signifikante Unterschiede auf. Lediglich bei 10 Minuten Kontakt zeigte sich der Trend der Abnahme der Haftkraft mit zunehmendem Abstand oben.

Für die Untersuchung der Beziehung zwischen Kontaktfläche und Adhäsion wurden verschiedene Szenarien der gewonnenen Daten betrachtet. Bei kurzen Kontaktzeiten offenbarten die Daten einen starken linearen Zusammenhang zwischen Kontaktfläche und den Adhäsionsvariablen wie Haftkraft, Haftweg und Adhäsionsarbeit. Die initialen Auflageflächen beeinflusste die Haftkraft maßgeblich, während die Winkelgestaltung keine Korrelation zu den Adhäsionseigenschaften aufwies. Mit zunehmender Kontaktzeit änderten sich die Zusammenhänge. Die Haftkraft zeigte keinen weiteren Zusammenhang zu den Oberflächenparametern, anders als zum Haftweg und der Adhäsionsarbeit. Dies deutet darauf hin, dass in dieser Versuchsdurchführung die Teigeigenschaften maßgeblich für die Adhäsion bei höheren Kontaktzeiten waren.

Außerdem zeigte sich nach den unterschiedlichen Kontaktzeiten, dass sich die Daten abhängig von den Oberflächengeometrien gruppierten. Daher werden unterschiedliche Ablösemechanismen je nach Geometrieart vermutet, wobei zukünftig der Ablösemechanismus als entscheidender Einflussfaktor neben der Kontaktfläche betrachtet werden sollte. Außerdem deuten die Ergebnisse darauf hin, dass geometrische Parameter weniger Einfluss auf die Kontaktflächenbildung und Adhäsion haben, als die globale Wahl der Oberflächengeometrien.

Zudem erwies sich die Ermittlung der Kontaktfläche, basierend auf den gemessenen Profilhöhen der eingedrungenen Teige, lediglich als geeignete Methode für kurze Kontaktzeiten, da sie eine starke Korrelation mit den beobachteten Adhäsionserscheinungen aufwies. Bei längeren Kontaktzeiten wurde allerdings eine

zunehmende Diskrepanz zwischen dem Zusammenhang von Kontaktfläche und Adhäsion festgestellt, die auch vom Eindringmechanismus (Einfließen, Einpressen) abhängig war. Dies weist ebenfalls darauf hin, dass das Haftverhalten differenziert betrachtet werden muss. Das Verhalten des Einfließens und Ablösens der Teige von den Strukturen kann durch verschiedene Mechanismen erklärt werden, darunter mechanische Adhäsion, chemische Adhäsion und das Zusammenspiel von Adhäsion und Kohäsion. Diese Mechanismen treten je nach Struktur mit unterschiedlicher Intensität auf, was den Bedarf für weitere Forschung in diesem Bereich unterstreicht.

Die Analyse im Technikumsmaßstab bestätigte großteils die laborbasierten Ergebnisse, insbesondere die Korrelation zwischen Kontaktfläche und Adhäsion. Sie verdeutlichte ebenfalls die Rolle der Oberflächenstruktur bei der Ablösung des Teiges. So konnte gezeigt werden, dass makroskopisch strukturierte Oberflächen die Ablösung von Teiglingen von Verarbeitungsoberflächen reduzieren können. Insbesondere die Geometrien „Noppe“ und „Pyramide“ zeigten ein hohes Potential zur Verkürzung der Ablösezeit. Im Forschungsprojekt konnten somit grundlegende Erkenntnisse zur Gestaltung von Oberflächen für die Teigverarbeitung erzielt werden und Ansätze zur Reduktion von adversen Anhaftungserscheinungen aufgezeigt werden.

Wirtschaftliche Bedeutung

Das Bäckerhandwerk gehört mit einem Gesamtumsatz von 16,27 Mrd. € (2022) zu den wichtigsten Teilbranchen der deutschen Lebensmittelbranche. Mit durchschnittlich 24,8 Mitarbeitern und einem Jahresumsatz von 1,7 Mio. € pro Betrieb ist der Sektor stark mittelständisch geprägt und verzeichnet stark rückläufige Betriebszahlen. Der starke Konzentrationsprozess und hohe Preisdruck im Backgewerbe erfordern insbesondere für KMU stetige Optimierungen, um dem wachsenden Wettbewerbsdruck gerecht zu werden.

Anhaftende Teigreste an Maschinenteilen oder an Transportbändern stören die Produktionsabläufe bei der Herstellung von Backwaren und können die Produktqualität negativ beeinflussen: Aufgrund starker Verschmutzungen müssen Prozesse gestoppt und die Anlagen zwischengereinigt werden, und auch bei einem störungsfreien Ablauf müssen regelmäßige Reinigungsschichten integriert werden, wodurch der Auslastungsgrad der Anlagen sinkt. Zudem können sich ansammelnde Teigreste abtrocknen und in und auf die Backwaren gelangen, was eine Minderung der Produktqualität nach sich zieht.

Die Ergebnisse des Vorhabens ermöglichen eine Minimierung von Teiganhaftungen auf Verarbeitungsoberflächen und versetzen Backbetriebe in die Lage, wirtschaftlich deutlich höhere Durchsätze durch verringerte Stillstandzeiten (Notstopps, Reinigung und Wartung) zu erzielen. Gleichzeitig wird hierdurch das Hygienerisiko reduziert und die Qualitätskonstanz der Produktion gesichert.

Die Ergebnisse werden zudem von Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus dazu genutzt werden können, um Anlagen besser auszulegen und einen erhöhten Automatisierungsgrad zu gewährleisten und damit bedarfsgesetzte Lösungen anzubieten.

Publikationen (Auswahl)

1. FEI-Schlussbericht 2023.
2. Vogt, U., Fattah, E., Alpers, T. & Becker, T.: Makroskopisch strukturierte Verarbeitungsobeflächen zur Reduktion von Teigadhäsion. Lebensmittelbrief. 35, 44-46 (2024).
3. Laukemper, R., Ochs, A., Wohlmannstetter, K., Kugler, F., Becker, T. & Jekle, M.: Contact area determination between structured surfaces and viscoelastic food materials. LWT - Food Sci. Technol. 164, 113664, DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113664 (2022).

Weiteres Informationsmaterial

Technische Universität München - School of Life Sciences
Forschungsdepartment Life Science Engineering
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Weißenstephaner 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 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: © Sascha Kreklau - Verband Deutscher Großbäckereien e.V.

Stand: 27. November 2025