

Experiment- und modellbasierte Unterstützung des Conchierens dunkler Schokolade



Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle(n):	Technische Universität München - School of Life Sciences Forschungsdepartment Life Science Engineering Lehrstuhl für Systemverfahrenstechnik Prof. Dr. Heiko Briesen/M. Sc. Philip Schmid Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV), Freising Prof. Dr. Andrea Büttner/Dipl.-Ing. Isabell Rothkopf/Dr. Eva Ortner
Industriegruppe(n):	Industrievereinigung für Lebensmitteltechnologie und Verpackung e.V. (IVLV), Freising
Projektkoordinator:	Konstantinos Paggios Bühler AG, Uzwil
Laufzeit:	2018 – 2022
Zuwendungssumme:	€ 519.650,--

Ausgangssituation

Das Conchieren ist ein unverzichtbarer Prozess während der Schokoladenherstellung, da er die Aroma- und Texturausbildung bestimmt. Während des Conchierens dunkler Schokolade werden durch mechanischen Energieeintrag Agglomerate aufgebrochen, unerwünschte Aromen ausgetragen sowie Aromen von den Kakaopartikeln zu den Zuckerpartikeln übertragen.

Trotz seiner besonderen technologischen Bedeutung ist dieser Prozess bisher noch wenig verstanden und eine Vorhersage der technologischen Prozessparameter auf Basis der Rohstoffe ist bislang nicht möglich. Bisherige Werkzeuge, wie beispielsweise der Conchiergrad, können lediglich zur Beschreibung einer Momentaufnahme der Conche verwendet werden und nicht auf verschiedene Rezepturen oder Rohstoffe übertragen werden. Hinzu kommt, dass sich sowohl ein zu kurzes als auch ein zu langes Conchieren negativ auf das Aroma und die Textur auswirkt. Aufgrund dieser Einschränkungen müssen derzeit zur Festlegung der Conchierdauer und -intensität einzelfallbasiert noch immer zeitintensive Versuche mit sich anschließenden, ebenso aufwändigen sensorischen Tests durchgeführt werden; dabei entstehen Fehlchargen und hohe Kosten. Gerade auch in Hinblick auf den Trend hin zu Single-Origin-Schokoladen, der für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) bedeutsam ist, wird mit kleineren Chargen gerechnet, für die eine aufwändige experimentelle Rezeptentwicklung nicht wirtschaftlich durchzuführen wäre.

Ziel des Forschungsvorhabens war deshalb eine modellgestützte Unterstützung des Conchierens dunkler Schokolade hinsichtlich Dauer und Intensität zum Erzielen eines charakteristischen sensorischen Eindrucks der Schokoladen. Aus Kenntnis der zeitlichen Entwicklung der Konzentrationen von Leitsubstanzen in dunkler Schokoladenmasse während des Conchierens könnte die Wahl der Conchierbedingungen kostengünstig

abgeschätzt werden. Dies kann vor allem kleinen und mittleren Unternehmen die Möglichkeit eröffnen, Conchierprozesse auch im kleineren Maßstab ohne aufwändige Vorversuche auszulegen und zu betreiben.

Forschungsergebnis

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden zeitaufgelöste Experimente zur Entwicklung des Konzentrationsprofils von fünf ausgewählten Aromastoffen während der Phase des plastischen Conchierens durchgeführt. Ebenso wurden im Experiment und durch Molekulardynamik die Verteilungskoeffizienten von Aromamolekülen und somit die Verteilung im Gleichgewicht zwischen Kakaobutter und den Kakao- bzw. Zuckerpartikeln bestimmt. Zeitaufgelöste Knet- und Conchier-Experimente wurden im Farinographen, in einer Laborconche und einer Pilot-Conche bei verschiedenen Prozessbedingungen durchgeführt, um die Stofftransportkoeffizienten der ausgewählten Substanzen ausreichend detailliert ermitteln zu können. Variiert wurden die Conchier-temperatur, die Drehrichtung der Scherelemente sowie der Fettgehalt. Im Farinographen wurde neben der Knetzeit die Drehzahl der Knetelemente variiert. Alle experimentell gewonnenen Massen wurden aromaanalytisch charakterisiert.

Die aus der Aromaanalytik erhaltenen zeitaufgelösten Konzentrationsprofile wurden zur Parameterschätzung des parallel entwickelten Modells der Aromatransportkinetik herangezogen. Aus den Daten wurden makroskopische Massetransportkoeffizienten über Parameterschätzverfahren erhalten, die über die relative Steigerung bzw. die Verminderung der Aromakonzentration zwischen den Phasengrenzen im Conchierprozess informieren. Auf Basis dieser Massetransportkoeffizienten sollte eine geeignete Korrelation zwischen den Prozessparametern und der Veränderung der Conchenleistung berechnet werden. Für die Aromamoleküle konnte eine Korrelation der Austragsgeschwindigkeit über Luft durch ihr Molekulargewicht und ihren Octanol-Wasser-Verteilungskoeffizienten erreicht werden.

Des Weiteren wurden sensorische Vergleichsstudien mit den im Pilotmaßstab erstellten Schokoladen durchgeführt. Darüber hinaus wurden Quellen von Messunsicherheiten und ein Protokoll zur optimierten Versuchsplanung auf Basis des Modells untersucht. Dazu wurde u. a. die homogene Verteilung von ausgewählten Aromastoffen innerhalb der Conche anhand von Versuchen im Labormaßstab überprüft. Um die Parameterschätzung für inhomogene Proben aus der Conche robust zu gestalten, wurde ein hybrider Ansatz etabliert, bei dem ein statistisches Modell die Basis für eine Wahrscheinlichkeitsverteilung von gezogenen Proben bildet. Zusätzlich wurde anhand der vorliegenden Proben eine Wasserabhängigkeit der Transportkinetik zwischen Kakaobutter und umliegender Luft getestet. Ferner wurden die Annahmen des Übergangs von Aromamolekülen auf die Zuckeroberfläche in dunkler Schokolade geprüft sowie die Affinität einer amorphen Zuckeroberfläche betrachtet.

Durch die Validierung des Modells anhand von detaillierten und zeitaufgelösten Daten wurde ein wichtiger Grundstein geschaffen, der das Prozessverständnis des Conchierens wesentlich fördert. Ausgehend von diesem Modell können weitere Arbeiten in Angriff genommen werden, die eine Vorhersagbarkeit in Bezug auf eine Änderung von Prozessparametern tiefgehend ermöglichen. Ferner wurde gezeigt, dass die Probenahme aus Conchen einen komplexen Vorgang darstellt und in Bezug auf die bisherigen Arbeiten weiter optimiert werden kann. Für die Industrie wurde ein Software-Framework zur Simulation und Parameterschätzung der Aromatransportprozesse in der Conche veröffentlicht.

Wirtschaftliche Bedeutung

Die deutsche Schokoladenindustrie produziert jährlich ca. 1,1 Mio. t Schokolade und Schokoladenwaren im Wert von 5,3 Mrd. €; ein großer Anteil dieser Produkte wird von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) produziert.

Das Conchieren stellt dabei den zentralen Veredelungsschritt für die Schokoladenherstellung dar. Die Conchierparameter werden derzeit unter großem experimentellen Aufwand ermittelt, wodurch Fehlchargen und hohe Kosten entstehen. Dies erschwert es vor allem KMU, eigenständig neue Rezepturen zu entwickeln.

Im Vorhaben wurden verschiedenste Versuchsaufbauten verwendet, um den Conchierprozess phänomenologisch zu verstehen. Der erste Schritt war hierbei die Ermittlung der Gleichgewichtsverteilung von fünf ausgewählten Aromastoffen innerhalb der Schokoladen. Im Zuge dieser Analysen wurde zudem die Extraktionsmethode von Aromastoffen aus Kakaopartikeln etabliert, um eine exakte Verteilung in der Fett- und Partikelphase berechnen zu können. Das Vorhaben liefert zudem experimentell zeitaufgelöste Daten zur Verteilung der ausgewählten Aromastoffe in den verschiedenen Phasen Kakaobutter, Kakaopartikel, Zucker und Luft, welche zur Simulation des Conchierprozesses eingesetzt wurden. Beachtet wurden dabei auch variierende Prozessparameter, wie Conchier Temperatur, Rezeptur und Rotationsrichtung der asymmetrischen Scherelemente sowie verschiedene Conchen-Dimensionen. Das parallel entwickelte Modell kann die Änderung der Aromaverteilung abbilden und eine Quantifizierung der Austragsleistung von Stoffen aus der Conche liefern.

Aus dem Forschungsvorhaben ergeben sich diverse Aspekte, die für die schokoladenproduzierende Industrie von wirtschaftlicher Relevanz sind: So können Unternehmen beispielsweise auf die etablierte Analytik zur Bestimmung der Aromakonzentrationen in den Rohstoffen zurückgreifen. Dadurch werden kostenintensive Versuche eingespart, welche insbesondere bei KMU mit wechselnden Rohstoffen häufig durchgeführt werden müssen. Anhand des Modells kann der Austrag von Aroma für einen diskreten Prozess und eine spezifische Conche abgebildet werden. Zudem kann auf Basis der Ermittlung der Konzentrationen weniger Substanzen eine Korrelation für weitere Substanzen erstellt werden. Hierdurch wird der Aufwand für die Aromaanalytik und die damit verbundenen Kosten deutlich reduziert. Die Industrie hat die Möglichkeit, anhand des Modells und der vorhandenen Aromaanalytik eine Quantifizierung der Ausdampfleistung für Prozessparameter durchzuführen und sich gezielt einer gewünschten Conchenleistung anzunähern. Dies wird durch das entwickelte Tool ermöglicht, welches den Anwendern zur freien Verfügung steht und das die während des Vorhabens implementierten Parameterschätzverfahren verwendet.

Publikationen (Auswahl)

1. FEI-Schlussbericht 2022.
2. Guckenbiehl, Y., Ortner, E., Rothkopf, I., Schweiggert-Weisz, U., Ziegleder, G., Buettner, A., & Naumann-Gola, S.: Distribution and transition of aroma-active compounds in dark chocolate model systems under conching conditions. *Food Chem.* 437, 137861, DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.137861, (2024).
3. Guckenbiehl, Y., Morales Romero, A. M., Haug, H., Ortner, E., Rothkopf, I., Schweiggert-Weisz, U., Buettner, A. & Gola, S.: Conching of dark chocolate—Processing impacts on aroma-active volatiles and viscosity of plastic masses. *Curr. Res. Food Sci.* 9, 100909, DOI: 10.1016/j.crfs.2024.100909, (2024).
4. Guckenbiehl, Y., Martin, A., Ortner, E., Rothkopf, I., Schweiggert-Weisz, U., Buettner, A. & Naumann-Gola, S.: Aroma-active volatiles and rheological characteristics of the plastic mass during conching of dark chocolate. *Food Res. Int.* 162, Part B, 112063, DOI: doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112063 (2022).

Weiteres Informationsmaterial

Technische Universität München
School of Life Sciences
Forschungsdepartment Life Science Engineering
Lehrstuhl für Systemverfahrenstechnik
Gregor-Mendel-Str. 4, 85354 Freising
Tel.: +49 8161 71-3272
Fax: +49 8161 71-4510
E-Mail: heiko.briesen@tum.de

Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV)
Giggenhauser Straße 35, 85354 Freising
Tel.: +49 8161 491-715

Fax: +49 8161 491-777

E-Mail: andrea.buettner@ivv.fraunhofer.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: © IVV, Freising

Stand: 14. Januar 2025