ICE NTB BUCHS

Success Story:
Ein kontrollierter Prozess für die Produktion von Margarine höchster Qualität

Im Rahmen eines **InnoSuisse-Projektes** mit der Firma Egli Prozesstechnik AG wurde an der NTB Buchs ein neuartiger CO_2-Flow-Boiling-Multi-Stage-Schabewärmetauscher entwickelt – mit vielen Vorteilen für die Praxis.

▶ DR. CHRISTOPH WÜRSCH, DR. ERICH CARELLI, DR. DANIEL GSTÖHL, CHRISTIAN SEITZ, STEFAN FREI, KIM MISHRA, DR. PETER BRAUN, RUDENZ EGLI

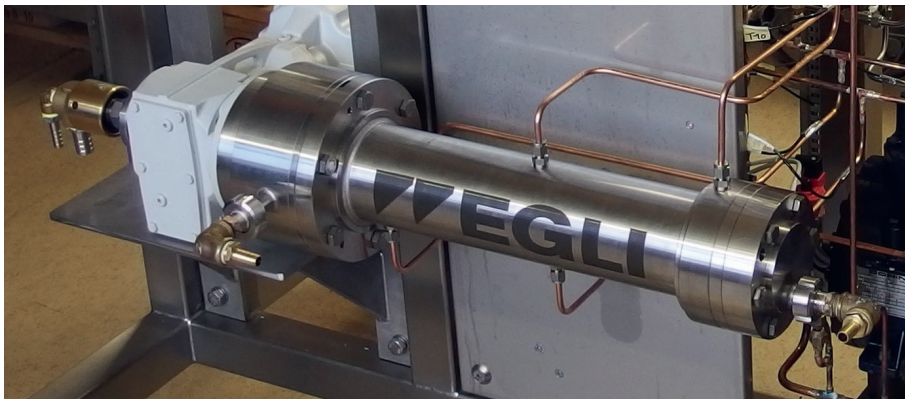
Die Qualität von Margarine, deren Streichfähigkeit, Lagerfähigkeit und Plastizität hängen stark von den Eigenschaften der verwendeten Öle sowie den genauen Prozessparametern ab. Dies führt bei empirischer Prozessregelung zu grossen Qualitätsschwankungen. Im Rahmen eines InnoSuisse-Projektes mit der Firma Egli Prozesstechnik AG wurde an der NTB Buchs ein neuartiger CO_2-Flow-Boiling-Multi-Stage-Schabewärmetauscher entwickelt, welcher extrem hohe Kühlraten erreicht und es erlaubt, die Temperaturprofile in den Schabewärmetauschern stabil und regelbar einzustellen.

Woraus besteht Margarine?

Margarine besteht aus einer Emulsion von fein dispergierten Fetttröpfchen (weltweit meist Palmöl) und Wasser. Diese Emulsion wird auf etwa 50 °C aufgeheizt und dann gezielt auf ca. 15 °C abgekühlt. Während dieses Kühlprozesses kristallisieren die Fettmoleküle (Palmstearin) zu kristallinen Netzwerken und bewirken so die Verfestigung der Margarine. Dieser Abkühlprozess definiert die Kristallstruktur der Fette (Phase) und somit die Konsistenz und damit auch die zur Weiterverarbeitung notwendigen Qualitätskriterien. Heute werden diese Prozesse empirisch geregelt. Es liegt in den Händen und beim Können des Operators, ob das Endprodukt Margarine brauchbar ist oder wieder eingeschmolzen werden muss. Die Qualität der Margarine ist dadurch grossen Schwankungen unterworfen. Stimmen die Parameter nicht, muss die Margarine wieder eingeschmolzen werden, was eine Unmenge an Energie kostet, die eingespart werden könnte.

Kontrollierter Prozess für höchste Qualität

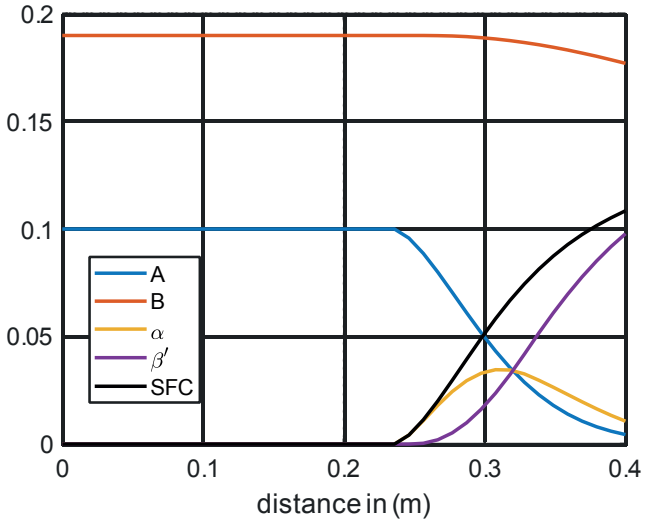
Mit den Schwankungen der Produktqualität aufgrund der hohen Variabilität der Eigenschaften der Ausgangsstoffe und nicht spezifisch optimiert angepassten



Die CO_2-Kälteanlage für den Flow-Boiling-Schabewärmetauscher (FB-SSHE) wurde am Institut für Energiesysteme der Interstaatlichen Hochschule für Technik entwickelt. Mit dieser Anlage werden Kühlraten erreicht, welche bisher technisch so nicht realisierbar waren.

Prozessparametern kämpft die Firma Egli AG aus Bütschwil SG schon seit Jahren. Die Egli AG, gegründet 1888, ist ein weltweit operierendes, in der 4. Generation inhabergeführtes Schweizer KMU im Bereich Maschinen- und Anlagenbau für die Fett-, Butter- und Margarineindustrie. Die Anlagen für die Industrie und Forschungsbetriebe zeichnen sich durch den Einsatz von neuester Technik und modernster Technologie aus.

Rudenz Egli, CEO der Firma, ist mit der Idee für ein Innovationsprojekt an die Interstaatliche Hochschule für Technik NTB in Buchs SG gelangt. Mit Prof. Dr. Daniel Gstöhl vom Institut für Energiesysteme (IES) sowie Prof. Dr. Christoph Würsch und Dr. Erich Carelli vom Institut für Computational Engineering (ICE) konnte ein Team zusammengestellt werden, welches sowohl die Entwicklung von Kältemaschinen als auch die Modellierung, Simulation und Regelung von Prozessen beherrscht. Die Gruppe von Prof. Dr. Erich Windhab, Vorsteher des Instituts für Lebensmittel- und Ernährungswissenschaften der ETH Zürich und eine Koryphäe auf dem Gebiet strömungstechnischer Verfahren zur Mikrostrukturierung von Mehrphasensystemen im Bereich Lebensmittel, steuerte das mess- und verfahrenstechnische Know-how bei.



Vorhersage der Kristallisationsphasen

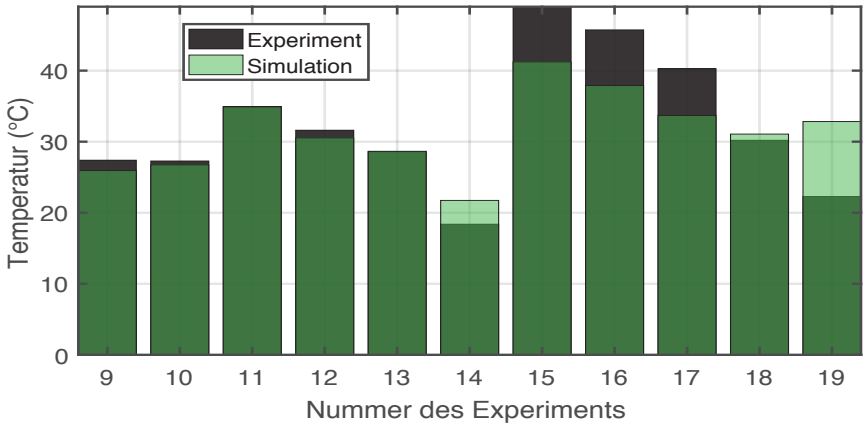
des eindimensionalen Modells als Funktion der Position entlang des Schabewärmetauschers im stationären Betrieb der Anlage. Beim Austritt aus dem Flow-Boiling-Schabewärmetauscher ist die gewünschte -Phase dominant vertreten. Der Feststoffanteil (SFC: solid fat content) beträgt etwa 12%.

Weltrekordmässig kristallisiert

Die Struktur der Fettkristall-Netzwerke in der Wasser-Fett-Emulsion der Margarine bestimmt die Konsistenz, Streichfähigkeit und das Lagerverhalten der ▸▸

Vorhersage der Austrittstemperatur und Validierung mit dem Modell

Die Austrittstemperatur bestimmt die Viskosität der Margarine am Austritt des Schabewärmetauschers. Modell und Experiment stimmen gut überein.



▸▸ Margarine und wird durch den Abkühl- und den Kristallisationsprozess bestimmt. Da Margarine aber ab einer gewissen Temperatur eine zähflüssige, pastöse, schlecht wärmeleitende Masse wird, ist es schwierig, diese Masse schnell abzukühlen. Mit einem Schabewärmetauscher mit Micro-Channel-Strömungsverdampfung mit zwei Temperaturzonen, die von einer zweistufigen CO_2-Kälteanlage bedient werden, konnte eine Abkühlung erreicht werden für die bislang drei Schabewärmetauscher notwendig waren.

Auf die Struktur kommt es an

Palmfette können in sehr unterschiedlichen Kristallphasen kristallisieren, aber nur eine bestimmte Kristallstruktur, die sogenannte -Phase ist gewünscht. Es handelt sich hier um eine metastabile Phase, welche entsteht, wenn Margarine möglichst schnell, fast schockmässig abgekühlt wird. Dies wird durch den neuen Flow-Boiling-Schabewärmetauscher erreicht. Was im Innern des Schabewärmetauschers passiert, welche Kristallphasen sich wann und wo bilden, haben Erich Carelli und Christoph Würsch modelliert, mit dem Ziel, hieraus ein vereinfachtes Prozessmodell für die Prozesskontrolle zu entwickeln.

Ausgehend von einem vollständig gekoppelten 2D-axialsymmetrischen Finite-Volumen-Simulationsmodell wurde ein eindimensionales reduziertes Modell zur Vorhersage der verschiedenen Kristallphasen und der Viskosität der Margarine entwickelt, welches als Beobachter (Digitaler Zwilling) für die Prozessregelung verwendet werden kann. Die Gleichungen für die Kristallisationskinetik von Margarine wurden aus den Arbeiten von Marangoni und Mazzanti] übernommen, jedoch mussten die Werte für die Reaktionsgeschwindigkeiten und die Avrami-Exponenten empirisch skaliert werden, da diese Parameter im Bereich solch hoher Scher- und Kühlraten bisher noch nicht bestimmt wurden. Durch die erzeugten hohen Scher- und Kühlraten an der Wand des Flow-Boiling-SSHE wird die Reaktionsgeschwindigkeit der Fettkristallisation um Grössenordnungen erhöht, was für die Prozesstechnik und die Qualität der Margarine von Vorteil ist. Anstelle von normalerweise drei seriell hintereinander verschalteten Schabewärmetauschern genügt nun ein einziger. Modell und Experiment stimmen gut überein. Das Viskositätsmodell sowie die Reaktionskinetik müssen auf das jeweilige Stoffsystem (z. B. Palmöl, Rapsöl) abgestimmt werden.

➡ Die Vernetzung von Prozesserfahrung, Kältetechnik und mathematischer Modellierung benötigt ein sehr hohes spezifisches Wissen. Deren Koordination mit den Fachleuten vom NTB Buchs, der ETH Zürich und der EGLI AG Bütschwil ergab eine funktionierende, die Erwartungen weit übertreffende Pilotanlage.

Umsetzung und Weiterentwicklung bei Egli AG

Mit den im Innosuisse-Projekt erarbeiteten Grundlagen ist es möglich, ein Scale-up auf einer Produktionsanlage mit Stundenleistungen von ein- oder mehreren Tonnen zu machen. Als Erstes wurde bereits eine Butterkühlanlage mit Micro-Channel-Schabewärmetauschern für eine Stundenleistung von 4 Tonnen pro Stunde von 19 °C auf 6 °C gebaut. Im nächsten Weiterentwicklungs-Projekt soll die Standard-Margarineanlage mit Micro-Channel-Schabewärmetauschern ausgerüstet werden.

Die Vernetzung von Prozesserfahrung, Kältetechnik und mathematischer Modellierung benötigt ein sehr hohes spezifisches Wissen. Deren Koordination mit den Fachleuten vom NTB Buchs, der ETH Zürich und der Egli AG Bütschwil ergab eine funktionierende, die Erwartungen weit übertreffende Pilotanlage. Überraschend war die extreme Effizienzsteigerung vor allem deshalb, weil die Schabewärmetauscher-Technologie schon seit 50 Jahren bekannt und in der Praxis umgesetzt ist. Ein weiter grundlegender Faktor des Erfolgs waren die sofortigen Anpassungen des Projektweges in gegenseitigen Abgleichen aufgrund der Zwischenresultate und Erkenntnisse.

Dr. Christoph Würsch, Dr. Erich Carelli, Institut für Computational Engineering, ICE NTB Buchs

Dr. Daniel Gstöhl, Christian Seitz, Stefan Frei, Institut für Energiesysteme, IES, NTB Buchs

Kim Mishra, Dr. Peter Braun, Institut für Lebensmittel- und Ernährungswissenschaften der ETHZ

Rudenz Egli, Egli AG, Bütschwil

Quellen und Referenzen: Claudia Mäder, Alt, aber noch lange nicht ranzig: Die Margarine wird 150, NZZ, 18.7.2019. **Egli AG Process Technology**, Wilerstrasse 7, 9606 Bütschwil, http://www.egliag.com/. **Alejandro G. Marangoni, Leendert H. Wesdorp**, Structure and Properties of Fat Crystal Networks, 2nd Edition, CRC Press (2012), ISBN 9781439887622. **Mazzanti, A. G. Marangoni and S.H.J. Idziak**, Modeling phase transitions during the crystallization of a multicomponent fat under shear, Phys. Rev. E 71, 041607 (2005).