

Modellierung und experimentelle Charakterisierung der Erstarrung von Schokolade in industriellen Kühlkanälen

Eines der bekanntesten in der Schweiz hergestellten und fast überall beliebten Konsumgüter ist die Schokolade. Diese Bachelorarbeit widmet sich der thermodynamischen Untersuchung, Modellierung und experimentellen Charakterisierung der Erstarrung von Schokolade in industriellen Kühlkanälen. Dies ist einerseits für die Schokoladenqualität – wie zum Beispiel den Geschmack – von grosser Wichtigkeit. Andererseits soll auch der Energieverbrauch für den Kühlprozess minimiert werden. Es wurden Temperatur- und Wärmestrommessungen an präparierten Schokoladenformen durchgeführt. Diese wurden mit NTC-Temperaturfühlern, einem Wärmeflussensor sowie Datenlogger ausgestattet. Die Temperatursensoren zeichnen sich durch ihre Kompakt-, Robust- und Genauigkeit aus. Diese Arbeit wurde in Kooperation mit der Schokoladenmanufaktur Max Felchlin AG in Schwyz und dem „Laboratory of Food Process Engineering“ der ETH Zürich durchgeführt.

Die NTC-Sensoren und der Datenlogger, welche während dieser Messungen im Einsatz waren, wurden in zwei verschiedenen Versuchen vollständig charakterisiert. Dazu wurde der Zusammenhang zwischen gemessener Temperatur und ausgegebenem elektrischem Widerstand des NTC-Sensors ermittelt. Da sich die Kennlinie der Temperatursensoren nicht mit der Umrechnungsfunktion des Datenloggers deckte, wurde nach der jeweiligen Messung eine Korrektur der verfälschten Messwerte vollzogen, um somit die richtigen Temperaturwerte zu erhalten. Die Abweichung liess sich auf 0,5 Prozent reduzieren.

Anschliessend wurden im Kühlkanal der ETH Temperatur- und Wärmeflussmessungen an einer präparierten Schokoladenform durchgeführt und ausgewertet. Mit Hilfe dessen liess sich der Einfluss der Luftströmungsgeschwindigkeit auf den Wärmeübergangskoeffizient von der Schokoladenlinse zur Umgebung erfassen. Ebenfalls konnten die Einbaubedingungen des Wärmeflussensors optimiert werden. Danach wurden am Kühlkanal der Max Felchlin AG Temperaturmessungen vorgenommen. Sie wiesen einen für den Schokoladenabkühlprozess repräsentativen Temperaturverlauf auf. Auch im Vergleich mit Messungen in einem Temperimeter konnte trotz anderer Abkühlbedingungen eine grosse Ähnlichkeit mit den Temperaturmessungen im Kühlkanal festgestellt werden. Es wurden ebenfalls Wärmeflussmessungen im Kühlkanal der Max Felchlin AG durchgeführt.

Anhand dieser Messdaten wurde ein Modell basierend auf globalen Energiebilanzen erstellt. Die Plausibilität der Messungen wurde dementsprechend verifiziert.



Diplomierende
Lorenz Brenner
Thomas Hunkeler

Dozierende
Thomas Hocker
Olaf Hoenecke



Speziell angefertigter
Wärmeflussensor für die
Schokoladenform aus Kapton, Kupfer
und Konstantan.



Resultate der Wärmeflussmessungen
bei der ETH
(Wärmeübergangskoeffizienten von
der Schokoladenlinse zur Umgebung).