

Dissertation ETH Number 16757

Fat Structure Development in Low Temperature Extruded Ice Cream

A dissertation submitted to the
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by

Matthias D. Eisner

Dipl.-Ing. University of Karlsruhe (TH)

born September, 21st, 1976

citizen of Germany

accepted on the recommendation of
Prof. Dr.-Ing. Erich J. Windhab, examiner
Dr. rer. nat. Hans Wille, co-examiner

2006

Summary

In ice cream three disperse phases, air cells, ice crystals and fat globules, are embedded in a continuous matrix phase. All of these phases develop during the manufacturing processes, which involves homogenisation, whipping and freezing as the major steps. The quality of the resulting ice cream depends strongly on the microstructure of the disperse phases and therefore a deeper understanding on how it is influenced by recipe and process is crucial in order to improve ice cream products further. Especially a well formed network of fat agglomerates stabilises the air cells in ice cream and results in a creamy and slow melting product.

Within this work the fat phase development in ice cream is systematically investigated. It involves the breakup of initially large droplets during homogenisation while preparing the ice cream mix, partial crystallisation and rearrangements of the fat globule membrane during ageing and shear induced partial coalescence during the combined whipping and freezing step.

By lowering the ice cream mix temperature during homogenisation to a range where already part of the fat is crystalline, fat agglomerates are already formed during this early process step and preserved throughout freezing, resulting in enhanced creaminess.

A modified freezing step, the LTE of ice cream, imposes higher shear stresses on the ice cream by cooling down the product to below -12°C and thereby results in decreased air cell and ice crystal sizes. Additional shear induced fat agglomeration is further promoted, while keeping the agglomerates small enough to prevent butteriness. The development of these fat agglomerates is investigated along the extruder screws and in the final product as a function on several process parameters like overrun or wall temperature within the extruder barrel. It is shown that agglomerates are only formed up to critical shear stress, above which they are again disrupted. When exchanging the milk fat commonly used in ice cream with hardened coconut fat, this critical shear stress is lower, due to the harder and more brittle structure of the coconut fat at the relevant temperatures. The outlet die of the LTE is investigated separately, as it has an additional effect on the final ice cream structure.

The effect of different emulsifiers, mono-/diglycerides varying in their saturation and polysorbates and sorbitan esters varying in their HLB, on the degree of fat agglomeration is investigated within the conventional and new freezing process. In general further improvements of the fat structure by LTE are found even in those cases where high levels of fat destabilisation are already caused by the

emulsifiers during conventional freezing. Additionally, the influence of those emulsifiers on the foamability and foam stability of ice cream mix and model systems is investigated in a foam column, which eliminates the additional influences of fat agglomeration and freezing.

In order to calculate local temperatures and shear stresses within the LTE process and to facilitate a flow simulation of this process a model for the physical properties model of ice cream is developed and verified based on measured and published data. Measurement techniques for the major consumer relevant quality characteristics: scoopability, creaminess and meltdown resistance, are further developed throughout this work with special respect to standardised methods and reproducible results.

Zusammenfassung

Die Struktur von Eiscreme wird durch drei disperse Phasen bestimmt, Eiskristalle, Luftblasen und Fettglobule, die in einer kontinuierlichen Matrixphase eingebettet sind. Sie entwickeln sich während des Herstellungsprozesses, der aus den Hauptschritten Homogenisierung, Aufschlagen und Gefrieren besteht. Die Qualität der erzeugten Eiscreme hängt wesentlich von der Mikrostruktur dieser dispersen Phasen ab. Daher ist exakte Kenntnis, wie diese durch Rezeptur und Prozess beeinflusst werden können, notwendig, um die Qualität von Eiscremeprodukten weiter zu steigern. Insbesondere stabilisiert ein Netzwerk aus Fettglobulen die Luftblasen in Eiscreme, was zu erhöhter Cremigkeit und langsamerem Abschmelzen führt.

In dieser Arbeit wird die Entwicklung der Fettphase in Eiscreme systematisch untersucht. Diese schließt den Aufbruch anfänglich großer Tropfen durch die Homogenisation während der Eiscrememix Herstellung, teilweise Kristallisation und Umordnung der Fettglobulmembranen während der Mixreifung und partielle Koaleszenz während des kombinierten Aufschlag- und Gefrierschrittes ein.

Durch Absenken der Mixtemperatur während der Homogenisation in einen Bereich, in dem bereits ein Teil des Fettes auskristallisiert ist, können bereits in diesem frühen Prozessschritt Fettagglomerate gebildet werden, die zu einem gewissen Teil durch den Gefrierprozess hindurch erhalten bleiben.

Mittels eines modifizierten Gefrierprozesses, der Tieftemperaturextrusion, wird Eiscreme auf unter -12°C abgekühlt, wodurch auch höhere Scherkräfte auf die Eiscreme übertragen werden. Dies hat feinere Eiskristalle und Luftblasen zur Folge, trägt aber auch wesentlich zur scherinduzierten Agglomeration von Fettglobulen bei, ohne jedoch zu große Agglomerate oder ein Ausbuttern hervorzurufen. Es wird untersucht, wie sich der Aufbau dieser Agglomerate entlang der Extruderschnecken und ihre Struktur im Endprodukt durch unterschiedliche Prozessparameter, wie Aufschlag (overrun) oder die Wandtemperatur des Schneckenkanals, beeinflussen lässt. Es wird gezeigt, dass Fettagglomerate nur bis zu einer kritischen Scherbeanspruchung aufgebaut werden, bei höheren Scherkräften tritt dagegen Agglomerataufbruch auf. Wird das üblicherweise verwendete Milchfett durch gehärtetes Kokosnussfett ersetzt, sinkt diese kritische Grenze ab, da das Kokosfett selbst bei den relevanten Temperaturen wesentlich härter und brüchiger ist. Zusätzlich wird auch die Austrittsdüse des Extruders betrachtet, da sie einen weiteren Einfluss auf die Produktstruktur hat.

Der Einfluss verschiedener Emulgatoren, Mono-/Diglyceride unterschiedlicher Sättigung und Polysorbate und Sorbitan Ester mit unterschiedlichen HLB Werten

auf das Ausmaß der Fettdestabilisierung in Eiscreme wird für den konventionellen und modifizierten Gefrierprozess untersucht. Selbst in den Fällen, in denen der Emulgator bereits beim konventionellen Gefrieren zu hohen Fettagglomeratanteilen führt, kann ein weiterer Anstieg durch die Tieftemperaturextrusion hervorgerufen werden. Zusätzlich wird der direkte Einfluß dieser Emulgatoren auf die Aufschäumbarkeit und Schaumstabilität von Eiscrememix und Modellsystemen in einer Blasensäule untersucht, mit der zusätzliche Effekte durch Fettagglomeration und Eiskristallbildung vermieden werden können.

Um lokale Temperaturen und Scherkräfte im Tieftemperaturextrusionsprozess berechnen zu können und eine Strömungssimulation zu ermöglichen, wird ein Modell der physikalischen Eigenschaften von Eiscreme entwickelt und an Hand von gemessenen und publizierten Daten verifiziert. Die zur Bestimmungen der wesentlichen für den Konsumenten relevanten Qualitätscharakteristika – Löffelbarkeit, Cremigkeit und Abschmelzverhalten – verwendeten Analyse-techniken werden in dieser Arbeit in Hinblick auf Standardisierung und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse weiterentwickelt.