

Fettstabilisierte Schäume: Eiskrem und Schlagsahne

Schaum ist nicht gleich Schaum

Geschäumte Produkte, insbesondere Süßwaren und Milchprodukte erfreuen sich steigender Beliebtheit. Stimmt die Struktur des sensiblen Schaums, wird eine lockere, leichte Textur oder ein cremiges Mundgefühl erreicht, welche hohe Akzeptanz beim Verbraucher finden. Das wird erzielt durch Dispergieren von Gas (Luft, N₂ oder CO₂).

Die physikalischen und sensorischen Eigenschaften der Schäume werden neben den Prozessparametern durch die Zusammensetzung der Ausgangsstoffe bestimmt, die im Lebensmittelbereich in der Regel Mehrkomponentensysteme sind [7]. Es besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Schaumstruktur und den sensorischen Eigenschaften der Produkte, als wesentliche Qualitätskriterien sind die Gasblasengrößenverteilung und die Schaumstabilität zu nennen [5].

In der Regel erfolgt die Entwicklung neuer Produkte rein empirisch, d. h. für die gesamte Rezeptur und unter rein qualitativen Gesichtspunkten. Die Variation eines einzelnen Parameters (Prozess oder Rezeptur) hat oftmals zur Folge, dass das Produkt die gewünschten Eigenschaften verliert.

Für einen gezielten Aufbau der Struktur von geschäumten Produkten ist es somit notwendig, die Zusammenhänge zwischen den physikalischen Eigenschaften des Ausgangsproduktes, dem Mechanismus des Schaumaufbaues, dem Prozess zur Gasdispersion und der Stabilität der erzeugten Schäume möglichst weitgehend zu erarbeiten. Besonders komplex sind diese Zusammenhänge in fettstabilisierten Schäumen.

Nachfolgend wird anhand von experimentellen Ergebnissen der Zusammenhang zwischen ausgewählten Prozessparametern, dem Aufbau des Fettagglomeratgerüsts und den Gasblasengrößenverteilungen bzw. den rheologischen Eigenschaften an den Produktbeispielen Eiskrem und Schlagsahne verdeutlicht.

AUFBAU DER SCHAUMSTRUKTUR

In Abhängigkeit vom Ausgangsprodukt ist zwischen proteinstabilisierten und fettstabilisierten Schäumen zu unterscheiden:

- Bei der Herstellung von proteinstabilisierten Schäumen (z. B. Schaumzuckerwaren, Des-

serts) findet zunächst eine Adsorption der Proteine an die Grenzfläche Gas/wässrige Phase statt. In Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen (Temperatur, pH-Wert, Ionenmilieu) erfolgt eine strukturelle Veränderung der Proteine (Auffaltung, Polymerisierung, Filmbildung) und somit eine Stabilisierung der Gasblasen. Für die Herstellung von lagerstabilen Produkten ist eine zusätzliche Stabilisierung der Struktur z. B. durch Erhöhung der Viskosität der kontinuierlichen Phase erforderlich.

- Der Strukturaufbau von fettstabilisierten Lebensmittelschäumen wie Eiskrem, Schlagsahne und Desserts ist deutlich komplexer [1, 2]. Als Ausgangsbasis liegt eine durch Proteine und ggf. durch niedermolekulare Emulgatoren stabilisierte Emulsion vor, deren Fetttropfendurchmesser im Bereich von $x_{50,3} = 1$ bis $3,5 \mu\text{m}$ variieren. Während der Dispergierung der Gasphase findet zunächst eine Adsorption von Proteinen an der Phasengrenzfläche Gas/wässrige Phase statt. Parallel dazu erfolgt eine mechanisch unterstützte Destabilisierung der Fettkügelchenoberflächen, d. h. die Membranhülle der Fettpartikel wird teilweise freigelegt. Weiterhin werden Fettpartikel zerschlagen, so dass amorph erstarrtes Fett aus dem Inneren austreten kann. Das Fett, welches nicht mit Proteinen oder Emulgatoren belegt ist, wird als „destabilisiertes“ oder „extrahierbares“ Fett bezeichnet. Durch die beschriebenen Vorgänge werden die Fettpartikel zunehmend hydrophob, finden sich bevorzugt zu Agglomeraten zusammen, orientieren sich zur Gasphase und stabilisieren diese [3]. Voraussetzung für die partielle Koaleszenz der Fettpartikel sind die Vorgänge an der Phasengrenzfläche, die im wesentlichen von der Zusammensetzung und Funktionalität der Proteine, der Fetttropfengrößenverteilung und vom Kristallisationsgrad der Fette bestimmt werden. Ist ein zu geringer Fettanteil oder zu geringer Anteil an flüssigem Fett vorhanden, lagern sich die Fettkügelchen an die Grenzfläche, bilden jedoch kein stabiles Fettagglomeratgerüst. Ist der Anteil an flüssigem

Fett zu hoch, bildet sich eine dünne Fettschicht um die Gasblase, was zum Zusammenbruch der Gasblasenstruktur führt.

EMULGATOREN FÜR EISKREM

In Eiskrem liegt der Fettgehalt mit ca. 10 bis 12 % deutlich niedriger im Vergleich zur Schlagsahne mit mindestens 30 % Fett. Um eine ausreichende Belegung der Gasblasen zu erreichen, ist eine Verringerung der Fettkugeldurchmesser ($x_{50,3} = \text{ca. } 1 \mu\text{m}$) erforderlich, wodurch wiederum der Aufbau eines Fettagglomeratgerüsts erschwert wird.

Bei Eiskrem werden daher zusätzlich niedermolekulare Emulgatoren eingesetzt, wobei es in dieser Anwendung nicht ihre Aufgabe ist, die Emulsion zu stabilisieren, sondern die partielle Koaleszenz der Fettkugeln zu unterstützen [3]. Bei hohen Temperaturen während der Homogenisierung zeichnen sich die niedermolekularen Emulgatoren durch eine im Vergleich zu den Caseinen und Molkenproteinen schnelle Belegungskinetik und durch stark hydrophobe Eigenschaften aus und sind bevorzugt an der Grenzflächenbelegung beteiligt [4]. Dadurch wird die ansonsten aus reinen Proteinen bestehende Monoschicht durch ein Protein-/Emulgator-Gemisch ersetzt. Dieses führt zur Schwächung der Protein-Protein-Wechselwirkung und damit des schützenden viskoelastischen Films. Der Emulgatortyp ist von entscheidender Bedeutung.

Abbildung 1 zeigt beispielhaft für Eiskrem die Fettpartikelgrößenverteilungen vor (Eismix) und nach dem Aufschlagprozess (Eiskrem). Es sind zwei Proben dargestellt, die mit unterschiedlichen Emulgatoren (Mono-Diglyceride (MDG) gesättigt und ungesättigt), jedoch unter vergleichbaren Prozessbedingungen, hergestellt wurden. Es sind jeweils die Dichteverteilungen dargestellt. Die Partikelgrößenverteilungen in den Eismixproben sind vergleichbar und weisen ein Peakmaximum bei einem Partikeldurchmesser von $0,8 \mu\text{m}$ auf.

In den Eiskremprouben, die aus diesen Mixen hergestellt wurden, liegen aufgrund der destabilisierenden Eigenschaften der Emulgatoren deutliche Unterschiede vor. Die Kurve der Eiskremproube mit gesättigtem MDG weist zwei Maxima auf. Der erste Peak liegt bei ca. 0,8 µm, was auf einen hohen Anteil an nicht agglomerierten Fettpartikeln schließen lässt. Der zweite Peak liegt bei ca. 55 µm und zeigt die Größe und den Anteil an Fettagglomeraten an. Der mittlere Durchmesser $x_{50,3}$ der Verteilung liegt bei 10,4 µm.

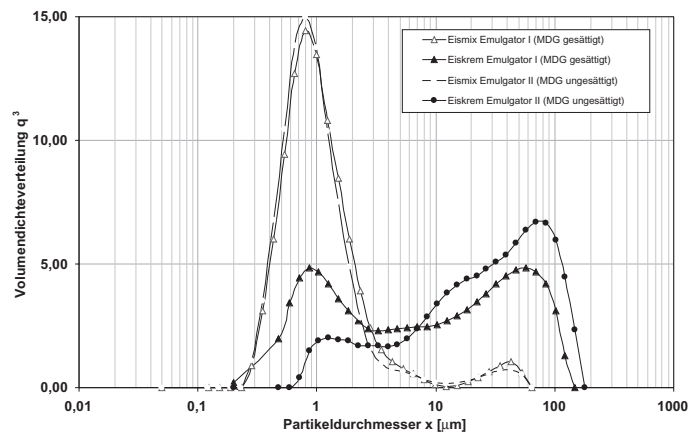


Abbildung 1: Fetttropfengrößenverteilungen von Eismix und Eiskrem, hergestellt mit zwei unterschiedlichen Emulgatoren

Die Kurve der Eiskremproube mit ungesättigtem MDG weist im Vergleich dazu einen deutlich geringeren ersten Peak mit einer Verschiebung zu einem Durchmesser von ca. 1,3 µm und einen erhöhten Anteil an Partikeln mit größeren Durchmessern auf. In diesem Produkt sind die Fettpartikel stark agglomeriert und der mittlere Durchmesser $x_{50,3}$ liegt bei 67,77 µm.

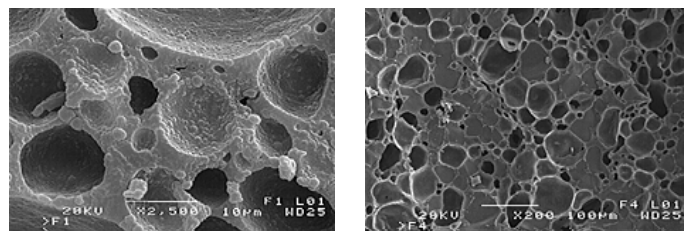


Abbildung 2: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen der Struktur von Eiskrem-Proben bei unterschiedlicher Vergrößerung (2500x und 200x)

In Abbildung 2 sind beispielhaft rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen der Struktur von Eiskrem abgebildet. Bei hoher Vergrößerung (2500x) sind neben den Gasblasen die Fettkugeln zu sehen, die sich sowohl in der Hülle der Gasblasen als auch in der kontinuierlichen Phase befinden. In Eiskrem wird eine zusätzliche Stabilisierung der Gasblasen durch deren Einbettung in eine kryokonzentrierte Phase erreicht. Bei geringerer Vergrößerung (200x) sind die Eiskristalle deutlich zu sehen. Ein ähnliches Bild zeigen die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen von Schlagsahne in Abbildung 3. Aufgrund der größeren Fettkugeldurchmesser und des erhöhten Fettgehaltes sind die Durchmesser der Fettkugelagglomerate erhöht.

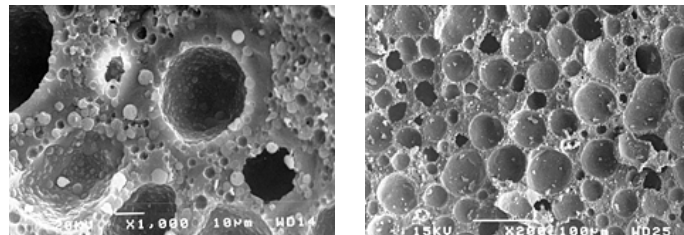


Abbildung 3: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen der Struktur von aufgeschlagener Sahne bei unterschiedlicher Vergrößerung (1000x und 200x)

STRUKTURSTABILITÄT

In geschäumten Systemen führen Drainage-, Koaleszenz- und Diffusionsprozesse (Ostwald Ripening) zur Strukturveränderung bzw. zum Zusammenbruch der Struktur während der Lagerung. Während in frisch hergestellten Schäumen vorrangig Drainage- und Koaleszenzerscheinungen auftreten, dominieren in lagerstabilen Schäumen die Diffusionsprozesse.

Ursache ist ein unterschiedlicher Innendruck p_{innen} in den Gasblasen, der sich aus der Laplace Gleichung ergibt und abhängig ist von der Grenzflächenspannung σ und dem Gasblasendurchmesser x :

$$p_{innen} = \frac{\sigma}{2 * x}$$

Folglich ist der Druck in der kleinsten Gasblase größer als in der größten Gasblase. Der resultierende Druckunterschied bewirkt einen diffusiven Austausch [8].

Die großen Gasblasen wachsen auf Kosten der kleinen.

Mit zunehmender Inhomogenität der Gasblasenstruktur nimmt die Diffusionsrate zu. Dieser als Ostwald Ripening bezeichnete Vorgang wird durch die Temperaturbedingungen wesentlich beeinflusst.

Für einen Schaum mit hoher Lagerstabilität ist somit eine homogene Gasblasengrößenverteilung von vorrangiger Bedeutung.

Da ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Aufbau des Fettagglomeratgerüsts bzw. dem Anteil an extrahierbarem Fett und der Gasblasenstruktur bzw. den rheologischen Eigenschaften des Produktes besteht, kann sowohl die Fettagglomeratgrößenverteilung als auch der Anteil an extrahierbarem Fett für die Qualitätsbewertung der Produkte herangezogen werden.

EINFLUSS VON PROZESSPARAMETERN

Im Rahmen von Forschungsprojekten wurden Untersuchungen zur Verschäumung von Eiskrem, Schlagsahne und Modellemulsionen durchgeführt. Die Aufschlagversuche von Eiskrem erfolgten bei gleichzeitigem Gefrieren unter Einsatz eines kontinuierlichen Freezers (MF 100, Technohoy, DK) und von Schlagsahne mit einem kontinuierlichen Rotor/Stator-System (ECO-Mix, Hansa Industrie-Mixer, D).

Die Proben wurden hinsichtlich der Struktur (Rasterelektronenmikroskopie/Bildanalyse), der Fettagglomeratgrößenverteilung (Laserbeugung), des Anteils an extrahierbarem Fett (Extraktion mittels Petroleumbenzin) untersucht [6].

Bei Schlagsahne wurden zusätzlich die rheologischen Eigenschaften mittels Oszillationstest im Kegel/Platte-Spalt ermittelt und der Speichermodul G' (als Festigkeitskennwert) bei einer Frequenz von 1 Hz ausgewertet.

Die Ergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen: Mit zunehmendem mechanischen Leistungseintrag während der Verschäumung durch Erhöhung der Drehzahl wird sowohl bei gefrorenen als auch bei nicht gefrorenen Systemen eine Zunahme des Anteils an extrahierbarem Fett und somit eine Zunahme der Fettagglomeratdurchmesser erreicht (s. Abb. 4 und 5, Seite 3). Für beide Systeme konnte weiterhin ein Zusammenhang zwischen der Fettstruktur und der

Gasblasengrößenverteilung festgestellt werden. Mit zunehmender Fettagglomeration nahmen die Gasblasendurchmesser zunächst ab. Bei der Schlagsahne wurden mit zunehmender Fettagglomeration erhöhte Festigkeiten (Speichermodul G') gemessen.

Bei Eiskrem ist zu berücksichtigen, dass bei erhöhtem Leistungseintrag eine Erwärmung des Produktes auftritt und der Anteil an ausgefrorenem Wasser dadurch reduziert wird, wodurch es während der nachfolgenden Härtung und Lagerung zu vergrößerten Eiskristalldurchmessern und zu verstärkter Umstrukturierung der Gasblasen kommen kann. Der mechanische Leistungseintrag kann hier weiterhin durch die Temperatur des Gefrierzylinders und somit durch den Anteil an ausgefrorenem Wasser beeinflusst werden. Abbildung 6 zeigt diesen Zusammenhang, mit zunehmendem „Ausfriergrad“ nimmt die Fettagglomeratgröße zu und die Gasblasendurchmesser, welche hier direkt nach dem Freezerprozess (vor der Härtung) gemessen wurden, nehmen ab.

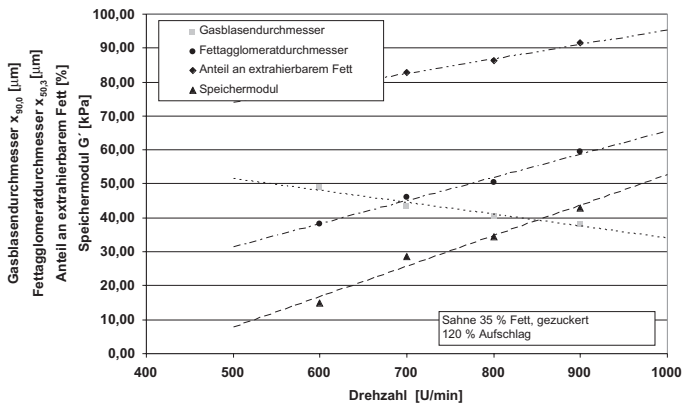


Abbildung 4: Fettpartikeldurchmesser, Anteil an extrahierbarem Fett, Gasblasendurchmesser und rheologische Eigenschaften von aufgeschlagener Sahne in Abhängigkeit von der Drehzahl des Rotor/Stator-Systems

Bei beiden Produktbeispielen führt jedoch eine zu starke Destabilisierung der Fettembran zur Ausbildung großer Agglomerate und somit zur Verringerung der Fettoberfläche. Die Gasblasen können dann nicht ausreichend stabilisiert werden, und es kommt zur Vergrößerung der Gasblasendurchmesser. Für jedes Produkt ist somit der ideale Zustand zu ermitteln.

Neben den dargestellten Einflüssen der Prozessparameter lässt sich der Strukturaufbau durch die Rezepturzusammensetzung beeinflussen. Bei der Herstellung von Eiskrem und anderen rekombinierten Emulsionen ist insbesondere die Funktionalität der niedermolekularen Emulgatoren entscheidend für den Aufbau der Fetttagglomeratstruktur (siehe Abbildung 1). Weitere wichtige Rezepturbestandteile sind die Milch- und Molkenproteine. Durch die Zusammensetzung und Konzentration der Proteine (Caseine und Molkenproteine) und durch deren Modifikation können die funktionellen Eigenschaften angepasst werden. So lässt sich die Adsorptiongeschwindigkeit und die Proteinbelegung der Grenzfläche z. B. durch thermische Vorbehandlung von Molkenproteinen stark verändern. Eine Erhitzung bis ca. 70 °C führt zur Entfaltung der Proteine und zur Abnahme der Proteinbelegung aufgrund deren Ausbreitung an der Fett-Serum-Grenzfläche. Bei erhöhter Erhitzung treten Aggregatbildungen auf, die wiederum zur Zunahme der Proteinbelegung, jedoch gleichzeitig zur Verminderung der Koaleszenzstabilität führen. In Abbildung 7 sind die Fetttagglomeratdurchmesser und die rheologischen Eigenschaften (Speichermodul G') von geschäumten Modellemulsionen dargestellt. Die Proteinlösungen wurden vor der Emulgierung einer Hitzebehandlung (70 bis 90 °C, jeweils 15 min) unterzo-

gen. Mit zunehmender Temperatur während der Vorbehandlung erhöht sich der Fetttagglomeratdurchmesser und die Festigkeit des Schaumes. Im Vergleich dazu wurden die Produkteigenschaften einer aufgeschlagenen Sahne (ungezuckert, 30 % Fett) dargestellt.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Gasblasengrößenverteilung und die Schaumstabilität von fettstabilisierten Schäumen sind wichtige Qualitätsparameter, die

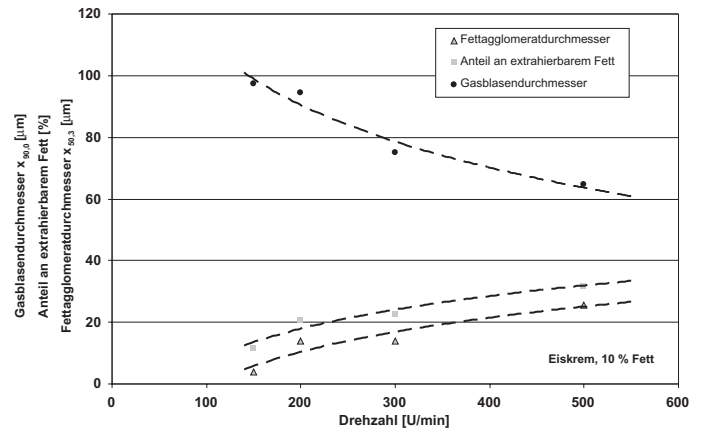


Abbildung 5: Fettpartikeldurchmesser, Anteil an extrahierbarem Fett und Gasblasendurchmesser von Eiskrem in Abhängigkeit von der Drehzahl der Messerwelle des Freezers

durch den Aufbau des Fetttagglomeratgerüsts beeinflusst werden können. Der Aufbau der Fetttagglomeratstruktur ist abhängig von der Fetttropfengrößenverteilung, dem Kristallisationsgrad des Fettes und insbesondere von der Grenzflächenbelegung der Fettphase durch Proteine und niedermolekulare Emulgatoren. Rezepturseitig kann durch die Auswahl der Rohstoffe oder durch Anpassung der Funktionalität der Proteine auf die Grenzflächeneigenschaften Einfluss genommen werden. Weiterhin sind die Prozessparameter während der Verschäumung von großer Bedeutung. Durch Erhöhung des mechanischen Leistungseintrages werden zunehmende Anteile an extrahierbarem Fett und damit vergrößerte Fetttagglomeratdurchmesser erreicht, die wiederum verringerte Gasblasendurchmesser und erhöhte Schaumstabilitäten bewirken. Die optimalen Bereiche müssen in Abhängigkeit von der Produktzusammensetzung ermittelt werden.

SUMMARY

Important quality parameters of fat stabilized foams are the gas bubble size distribution and the foam stability, which are influenced by the network of partial coalesced fat. The fat agglomeration is depending on the fat globule diameters, the degree of crystallisation of the fat and especially by the amount of protein and emulsifiers at the fat-/water-interface. The interfacial properties can be influenced by the selection of the ingredients and by modification of the functional properties of the proteins. Additionally the process parameters during the whipping process are very important. An increase of the input of mechanical energy leads to an increase in fat agglomerate diameter, which on the other hand leads to smaller gas bubbles and higher product stability.

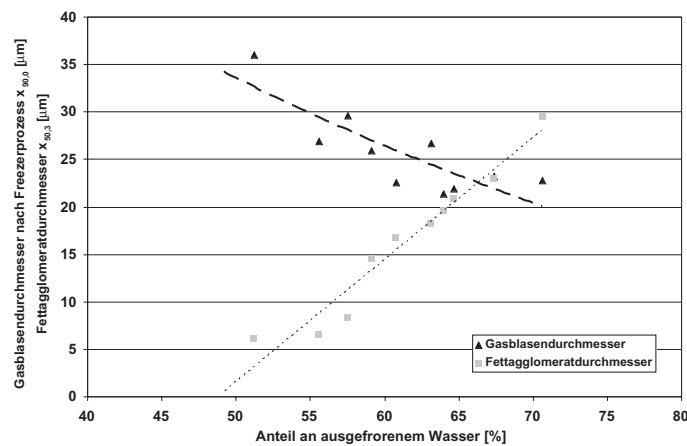


Abbildung 6: Fettpartikeldurchmesser und Gasblasendurchmesser von Eiskrem in Abhängigkeit vom Anteil an ausgefrorenem Wasser während des Freezerprozesses

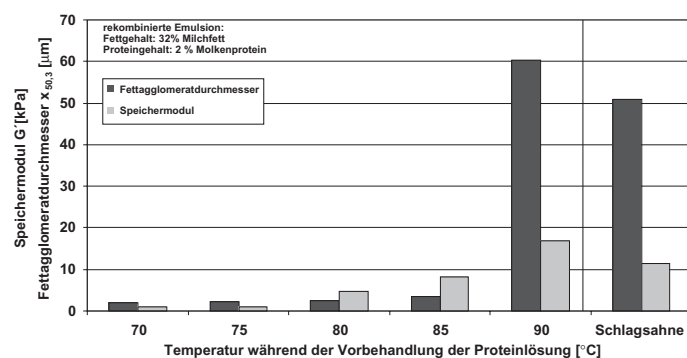


Abbildung 7: Fetttagglomeratdurchmesser und rheologische Eigenschaften von aufgeschlagenen Modellemulsionen in Abhängigkeit von der Vorbehandlung der Proteine

The optimal process parameters have to be investigated depending on the composition of the product.

LITERATUR

1. Brooker, B.E. (1990): Fats' dominant effect on foams. Food Processing, UK 59, 9, 35-37
2. Buchheim, W. (1992): Emulsions- und Schaumstrukturen in Eiskrem. Deutsche Molkereizeitung 123 672-677
3. Goff, H. D. (1997): Colloidal aspects of ice cream – A review. Int. Dairy Journal 7, 363-372
4. Krog, N. & Larsson, K. (1992): Crystallisation at interfaces in food emulsions Fat Sci. Technol 94, 2, 55-57
5. Prins, A. (1988): Principles of foam stability. in: Advances in food emulsions and foams (Hrsg.: Dickinson, E.; Stainsby, G.); Elsevier Applied Science Publishers Ltd.; ISBN 1-85166-200-6; 91-122
6. Rohenkohl, H. (2002): Scheu vor Pflanzenfetten ist nicht nötig. ZSW 3, 18-22
7. Stanley, D.W.; Goff, H.D.; Smith, A.K. (1996): Texture-structure relationships in foamed dairy emulsions. Food Research International 29, 1, 1-13
8. de Vries, A. J. (1958): Foam stability II, Gas Diffusion in foams, Recueil Trav. Chim. 57, 209-225

Die Forschungsprojekte wurden aus Mitteln der industriellen Gemeinschaftsforschung (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie/AiF) über den Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI) (AiF-Projekt-Nr.: 12098N) und aus Mitteln der Europäischen Gemeinschaftsforschung im Rahmen der Mittelstandsförderung (CRAFT) (Projekt-Nr. FAIR-CT98-9583) gefördert.

Autorin: Hiltrud Rohenkohl,
Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e. V.,
Prof.-von-Klitzing-Str. 7, D-49610 Quakenbrück,
Telefon 05431- 18 30, Fax 05431/183-114,
e-mail: H.Rohenkohl@dil-ev.de

Kennworte:

*Fettstabilisierte Schäume – geschäumte
Produkte – Eiskrem – Schlagsahne*