

Untersuchungen zur Milchschaumbildung und -stabilität in einem automatischen Aufschäumgerät

Von W. Hoffmann

Institut für Chemie und Technologie der Milch, Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Standort Kiel, Postfach 60 69, 24121 Kiel

1. Einleitung

Die Schaumfähigkeit von einzelnen Milchproteinfraktionen wurde in zahlreichen Publikationen beschrieben (1-16). Darin wurden die angereicherten oder isolierten, teils auch modifizierten Fraktionen zunächst in wässriger Lösung untersucht, bevor sie als funktionelle Zutaten in geschäumten Lebensmitteln getestet wurden. Die Schaumeigenschaften von Magermilch oder von Milch mit geringem Fettanteil (< 4%) waren in den letzten Jahrzehnten wesentlich seltener Gegenstand der Forschung (17-23). Dies ist umso erstaunlicher, weil bereits Anfang des 20. Jahrhunderts die Möglichkeiten zur Verminderung der Schaumbildung während der Milchbearbeitung wissenschaftlich untersucht wurden (24, 25). Die Förderung bzw. Optimierung der Schaumeigenschaften rückte dagegen erst vor wenigen Jahren stärker ins Blickfeld, als sich Kaffeegetränke mit einer möglichst stabilen Milchschaumhaube steigender Beliebtheit erfreuten.

Von Borcherding wurden von 2002 bis 2004 grundlegende Untersuchungen zur Charakterisierung der Makro- und Mikrostruktur von Milchsäumen durchgeführt (20). Dabei wurden auch einige Schäume für die Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) präpariert (26). In frisch hergestellten Schäumen aus pasteurisierter Magermilch ließen sich mit Hilfe der TEM deutliche Proteinstrukturen direkt an der Grenzfläche Luft/Flüssigkeit erkennen. Mit zunehmender Standzeit des Schaums wurden diese Strukturen ausgedünnt und waren nach 20 min nicht mehr sichtbar. Dies deutete darauf hin, dass eine partielle Desorption der Proteine im Zeitablauf erfolgte. Caseinmicellen und -submicellen sowie denaturierte Molkenproteine hatten sich offensichtlich wieder abgelöst, während nicht-micellares Casein und/oder native Molkenproteine, die unter den gegebenen Bedingungen der Elektronenmikroskopie nicht darstellbar waren, zurückblieben. Auch Brooker (18) hielt Caseinmicellen nicht für einen integralen Bestandteil der Grenzfläche und ihre Assoziation für reversibel. Bei der Untersuchung von Schäumen aus pasteurisierter und homogenisierter Vollmilch konnten Schrader und Borcherding (26) auf ihren TEM-Fotos wieder keine eindeutigen Proteinstrukturen unmittelbar an den Luftblasen erkennen. Obwohl die Luftblasen teilweise mit koalesziertem Fett bedeckt waren, war erneut davon auszugehen, dass die Grenzfläche überwiegend von nicht-micellarem Casein und nativen Molkenproteinen gebildet wurde. Intakte Fettkugeln waren ebenso wie sichtbare Proteinstrukturen aber in unmittelbarer Nähe (0,5-1 µm) der Grenzfläche zu beobachten.

Im Drainageverhalten zeigten Schäume aus pasteurisierter Magermilch sowie aus pasteurisierter Milch mit 1,5 und 3,5% bei Borcherding keine signifikanten Unterschiede. Bei ultrahocherhitzten Proben erwies sich der Magermilchschaum nach 20 min als wenig

stabil, während die fetthaltigen Proben, auf etwa gleich hohem Niveau, stabiler waren. Diese Schäume hatten nach 1 min auch weniger Flüssigkeit abgesondert als die pasteurisierten Proben, glichen sich mit zunehmender Standzeit diesen aber an. Überraschenderweise beeinflusste der Homogenisierdruck bei pasteurisierter Vollmilch das Drainageverhalten der Schäume nicht erkennbar. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass sie nur für die spezifischen Aufschäumbedingungen des aufgebauten Messplatzes gelten können. In der Arbeit wurde – neben einer guten Reproduzierbarkeit – besonderer Wert auf einen geringen Energieeintrag beim Schäumen (mit 50 °C Produkttemperatur) gelegt, dann die Grenzflächenaktivität der einzelnen Inhaltsstoffe von entscheidender Bedeutung ist. So wurde hier das Einbringen von (Druck-)Luft über eine feine Membran (Porengröße 9-15 µm) gewählt. Bei energieintensiven Rotor-Stator-Systemen oder dem Einblasen von heißem Wasser-dampf ist mit deutlich anderen Ergebnissen zu rechnen. Daher können zum Beispiel Anfragen von Verbrauchern nach einer optimalen Aufschäummethode im Haushalt und der am besten geeigneten Milch nicht aus den Ergebnissen dieser Arbeit beantwortet werden. Um der Praxis im Haushalt etwas näher zu kommen, verwendeten Hoffmann, Wieczorek und Borchering (21) drei im Handel erhältliche Geräte. Bei 50 und 70 °C heißer Milch, die mit einem Quirlbesen von immer der gleichen Person möglichst standardisiert aufgeschlagen wurde, zeigte vorher unterschiedlich wärmebehandelte Magermilch ein höheres Schaumvolumen als gleichbehandelte, zusätzlich homogenisierte Milch mit 1,5 und 3,5% Fett. Die Anwesenheit von emulgiertem Milchfett verringerte offensichtlich das mit Magermilch erreichbare Schaumvolumen, hatte aber keinen Einfluss auf die Stabilität des einmal gebildeten Schaums. Erstaunlicherweise war die Art und Intensität der Wärmebehandlung für die Schaumfähigkeit von untergeordneter Bedeutung.

In der nachstehenden Arbeit wurde wieder auf ein haushaltsübliches Gerät zurückgegriffen. Um manuelle, personenbedingte Unterschiede auszuschließen, wurde diesmal ein automatisches Aufschäumgerät gewählt, bei dem vier große Flügel aus Drahtgeflecht in einem Zylinder schnell rotieren. Dem Gerät war in einer Verbraucherzeitschrift eine „gute“ Handhabung und ein „sehr guter“ Milchschaum attestiert worden (Test „Kaffeemaschinen und Milchaufschäumer“, Heft 1/2004, S. 67, Stiftung Warentest, Berlin).

2. Material und Methoden

2.1 Material

Für die Herstellung der Milchproben wurde frische, rohe Sammelmilch vom Versuchsgut Schädtkel der BFEL, Standort Kiel, verwendet. Davon wurde eine Teilmenge auf ca. 45 °C angewärmt und dann entrahmt. Die gewonnene Magermilch wurde einerseits zum Einstellen der übrigen Rohmilch (Fett >4%) auf 1,5 und 3,5% Fett verwendet, diente aber auch selbst, nach einer Pasteurisierung (74 °C/20 s) oder Ultrahocherhitzung (138 °C/4,5 s), als Untersuchungsmaterial für den Milchaufschäumer. Die im Fettgehalt auf 1,5 und 3,5% eingestellten Milchchargen wurden in der Technikumanlage unter den gleichen Temperatur/Zeit-Bedingungen wie die Magermilch wärmebehandelt, aber unmittelbar vorher noch mit 100/50 bar oder 200/50 bar zweistufig homogenisiert (100 bzw. 200 bar Gesamtdruck, davon jeweils 50 bar in der 2. Stufe). Anlagenbedingt erfolgte die Homogenisierung vor der Pasteurisierung bei ca. 60 °C, vor der UHT-Erhitzung bei ca. 70 °C. Jede Versuchsvariation wurde dreimal aus unterschiedlicher Rohmilch durchgeführt.

Neben den im Technikum des Instituts hergestellten Proben wurden zwei UHT-Milcherzeugnisse aus dem Handel in die Untersuchung einbezogen, die speziell für das Aufschäumen entwickelt und entsprechend beworben wurden. Beim ersten handelte es sich um ein Produkt mit 2,5% Fett und 3,8% Eiweiß, das neben Milch auch Zucker, ein

Milchweißzeugnis, ein Hydrokolloid (Natriumalginat) sowie Aroma enthält. Das zweite Handelprodukt mit 1,5% Fett und 3,9% Eiweiß enthielt außer der Milch noch hydrolysiertes Weizenprotein, wiederum ein Milchweißzeugnis, Natriumalginat und Zucker.

2.2 Messung der Fettkugelgröße in den Milchproben

Die Bestimmung der Fettkugelgröße erfolgte mit einem Laserbeugungsspektrophotometer (Coulter LS 230, Fa. Beckman-Coulter, Krefeld). Die verwendeten Brechungsindices entsprachen denen bei Hoffmann et al. (27).

2.3 Bestimmung des Schaumverhaltens

Das Schaumverhalten der Milchproben wurde mit Hilfe eines „Automatischen Milchaufschäumers“ (Art.-Nr. 42410, Gastroback GmbH, Hollenstedt) geprüft. Zunächst wurden jeweils 200 g der vorher auf 5 °C temperierten Milchprobe in den zylindrischen Schaumbehälter gefüllt und mit einem Deckel verschlossen. Anschließend wurde das Gerät gestartet. Dabei wurde die Milch von unten über den Edelstahlboden des Behälters indirekt erhitzt und gleichzeitig mit Hilfe von vier „Schaumflügeln“ (Abb. 1) aufgeschlagen. Die einzelnen Schaumflügel hatten eine äußere Fläche von 40x29 mm, das innenliegende Drahtnetz mit einer Maschenweite von ca. 1 mm umfasste etwa 33x22 mm. Jeweils zwei Schaumflügel waren gegenüberliegend am Rotor befestigt. Eins der Paare wies einen Winkel von ca. 12° zur senkrechten Achse auf und wurde im Uhrzeigersinn gedreht, das zweite mit einem Winkel von ca. 348° entgegengesetzt gedreht. Die Schaumflügel hatten bei ihrer Rotation einen Abstand von 2-3 mm zur Gefäßwand. Nach Herstellerangaben schaltet sich das Gerät nach etwa 3 min automatisch ab. In dieser Zeit soll das Aufheizen der Milch und die Schaumbildung abgeschlossen sein. Nach einer weiteren Minute soll dann die nicht verschäumte, abgesetzte Milch abgegossen werden, so dass nur noch der Schaum zurückbleibt.

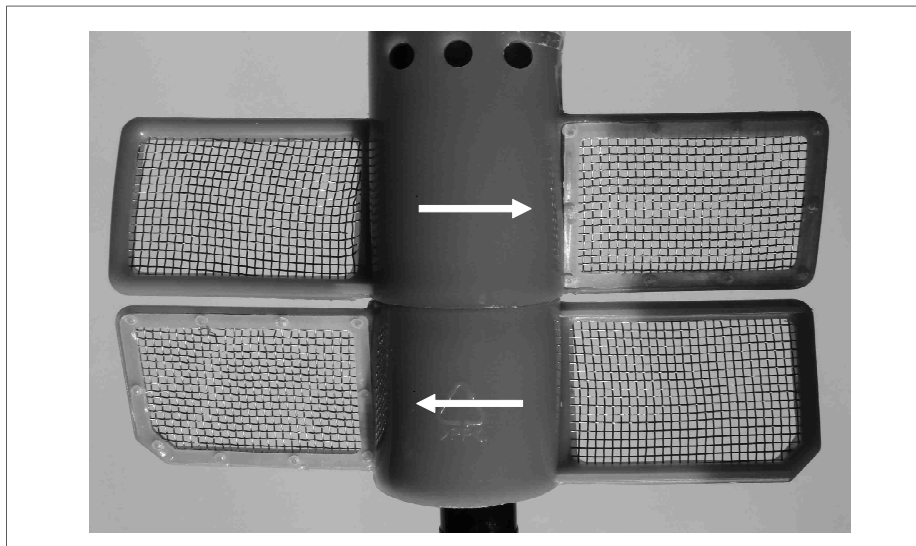


Abb. 1: Schaumflügel des automatischen Milchaufschäumers

Nach eigenen Messungen rotierten die Schaumflügel mit etwa 390 U/min. Bei einem Test mit Wasser (5 °C) erfolgte das Abschalten nach ca. 3:20 min, wobei die Endtemperatur des Wassers bei ca. 79 °C lag. Bei Milch schaltete das Gerät nach 2:00 min (Minimum bei Handelsprodukt 2) bis 3:20 min ab. 1 min später wurde die nicht aufgeschäumte, heiße Milch über ein genormtes Drahtsieb (Maschenweite 315 µm, Durchmesser 20 cm) in ein Becherglas abgegossen und das Schaumgefäß (ohne Deckel) dann umgedreht auf das Sieb gestellt. Dabei ruhte das Sieb waagrecht in einem Gestell, unter dem eine Glasschale auf einer Waage stand. So konnte die aus dem Schaum abtropfende Drainagemenge erfasst und daraus die zurückgebliebene Schaummenge berechnet werden.

Für die graphische Darstellung des Drainageverlaufs wurde die Schaummenge ab 2 min nach dem Abgießen der Milch berücksichtigt, da erst dann verlässliche Daten resultierten. Nach 15 min wurde die Drainagemessung abgeschlossen. Mit den selbst hergestellten Milchproben lagen die durchschnittlichen relativen Variationskoeffizienten der minütlich bestimmten Drainagedaten aus jeweils insgesamt 12 Messungen (3 unterschiedliche Milchchargen, je 4 x Aufschäumen) zwischen 1,28 und 3,35%, lediglich bei UHT-Magermilch wurden 4,36% berechnet.

3. Ergebnisse

3.1 Schäume aus pasteurisierter Milch

Die Milchproben mit 1,5 und 3,5% Fett wiesen mittlere volumenbezogene Partikeldurchmesser $D[4,3]$ zwischen 0,39 µm (1,5% Fett, 200/50 bar) und 0,90 µm (3,5% Fett, 100/50 bar) auf (Abb. 2). Mit dem automatischen Milchaufschäumer konnten gut reproduzierbare Ergebnisse erzielt werden. Das Gerät schaltete nach durchschnittlich 3:00 min (± 5 s) ab. Lediglich beim Aufschäumen der Vollmilch, die mit 200/50 bar homogenisiert wurde, war die Aufschlagzeit etwas kürzer und lag im Mittel bei 2:50 min (± 5 s). Hier bewegte sich die Temperatur der 1 min später abgegossenen, nicht aufgeschäumten Milchmenge zwischen 69 und 71 °C, während sie in den übrigen Versuchen 71 bis 73 °C erreichte. Eine Schaummenge von 3-6 g fand sich am Deckel des Gefäßes und wurde für die weitere Berechnung des Drainageverhaltens im Zeitablauf nicht berücksichtigt. Wie Abb. 2 zeigt, lag die Schaummenge 2 min nach dem Abgießen der heißen Milch bei unter 60 g, d.h. bei weniger als 30% der eingesetzten Milchmenge von 200 g. Am besten schnitt noch die Vollmilch mit 200/50 bar ab, während die anderen drei Varianten das gleiche niedrige Niveau aufweisen. Nach 15 min blieben weniger als 40 g Schaum zurück.

Beim Aufschäumen der pasteurisierten Magermilch schaltete das Gerät schneller ab als bei den fetthaltigen Proben. Die Aufschäumdauer reichte, je nach Magermilchcharge, von 2:25 bis 2:45 min, wobei die nach 1 min abgegossene Milch 67-68 °C heiß war. Größeren Einfluss zeigte die jeweilige Milchcharge in Bezug auf die Schaummenge, so dass eine Zusammenfassung der Daten hier nicht sinnvoll erschien. Abb. 3 zeigt die unterschiedlichen Drainageverläufe. Die Charge aus Versuch V1 ergab nach 2:30 min (± 5 s) die weitaus größten Schaummengen von über 100 g nach 2 min und ca. 50 g nach 15 min. Mit V2 und V3 wurden deutlich geringere Schaummengen erreicht, obwohl der Eiweißgehalt der Chargen nur geringfügig differierte. Einen Hinweis auf die mögliche Ursache erbrachten die gemessenen Partikelverteilungskurven der 3 Chargen. Bei V1 endete sie bei $< 0,4$ µm, während bei den beiden anderen Chargen eine zweite kleine Kurve im Bereich der Größenverteilung von Rohmilchfettkugeln auftauchte. Hier war entweder eine kleine Menge Rohmilch durch Verschleppung in die Magermilch geraten oder die Entrahmungsschärfe im Separator unzureichend gewesen. Dieser sehr kleine

Fettanteil hatte möglicherweise ausgereicht, um die Schaumeigenschaften negativ zu beeinflussen. Außerdem blieben hier 6-8 g Schaum am Deckel zurück, während dies bei V1 nur 2-3 g waren.

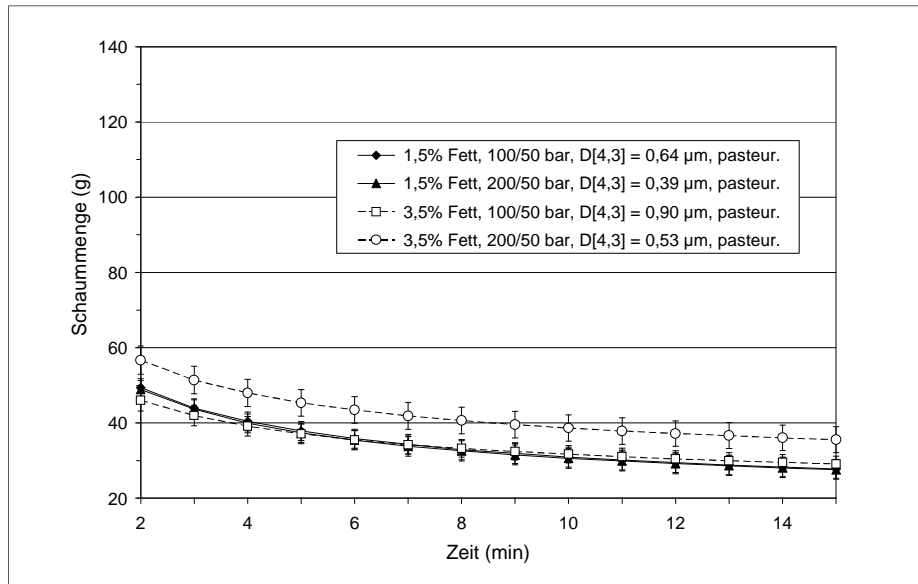


Abb. 2: Abnahme der Schaummengung nach dem Aufschäumen von unterschiedlich homogenisierter, pasteurisierter Milch mit 1,5 und 3,5% Fett

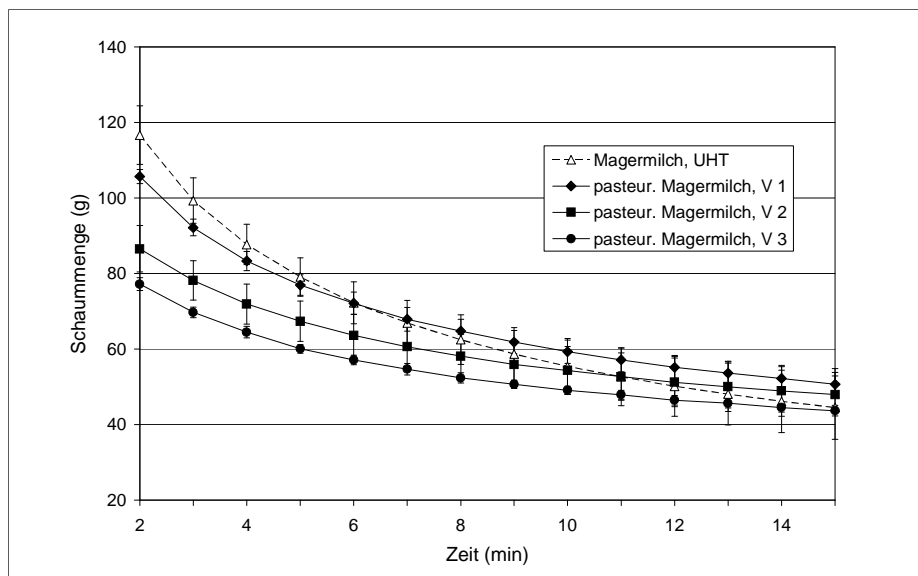


Abb. 3: Abnahme der Schaummengung nach dem Aufschäumen von pasteurisierter und ultrahocherhitzter Magermilch; V1, V2, V3: unterschiedliche Milchchargen

3.2 Schäume aus ultrahocherhitzter Milch

Die Homogenisierungsbedingungen der ultrahocherhitzten, fetthaltigen Milch hatten offensichtlich einen starken Einfluss auf die Schaumeigenschaften. Durch eine Erhöhung des Homogenisierdrucks von 100/50 auf 200/50 bar hatten sich die $D[4,3]$ -Werte der Milchproben mit 1,5% Fett von 0,59 auf 0,36 μm verringert, mit 3,5% Fett von 0,83 auf 0,47 μm bzw. auf 0,43 μm bei 250/50 bar (Abb. 4). Bei den schwächer homogenisierten Milchproben benötigte der Milchaufschäumer 2:40-3:00 min, während er bei den übrigen Proben bereits nach 2:15 min (3,5% Fett, 250/50 bar) bis 2:25 min abschaltete. Trotz der längeren Aufschäumdauer führten die höheren mittleren Fettkugelgrößen sowohl bei 1,5 als auch bei 3,5% Fett zu geringen Schaummengen (Abb. 4), nur wenig größer als die aus pasteurisierter fetthaltiger Milch (Abb. 2). Nach der intensiveren Homogenisierung von 200/50 bzw. 250/50 bar mit entsprechend kleineren Fettkugeln resultierten dagegen nach 2 min noch Schaummengen von über 100 g. Im Unterschied zum Schaum aus Vollmilch nahm aber der Schaum aus fettarmer Milch im Zeitablauf etwas schneller ab und erreichte nach 15 min noch durchschnittlich knapp 50 g. Bei Vollmilch blieben ca. 60 g auf dem Sieb zurück, also die Menge, die die Schäume aus schwach homogenisierter Milch nach nur 2 min hatten. Den Einfluss von Homogenisierdruck bzw. Fettkugelgröße bei fettarmer Milch auf die Schaummenge zeigen die Fotos von Abb. 5 sehr anschaulich. Dagegen war die Struktur der Schäume besonders nach kurzer Drainagezeit sehr ähnlich (Abb. 6 a, c), während die Blasengröße nach 30 min erkennbar differierte (Abb. 6 b, d). Bei den Drainageverläufen in Abb. 4 lagen die relativen Variationskoeffizienten (wieder aus je 12 Messungen, bei 3,5% Fett und 250/50 bar nur aus 4) zwischen 1,28 und 3,35%. Letzteres Ergebnis resultierte bei fettarmer Milch mit 200/50 bar, so dass in Abb. 7 die Ergebnisse aus den 3 unterschiedlichen Milchchargen (je 4 Messungen) dargestellt wurden. Obwohl die $D[4,3]$ -Werte nur wenig differierten (0,34-0,37 μm), sind die Drainageverläufe im Zeitablauf etwas unterschiedlich.

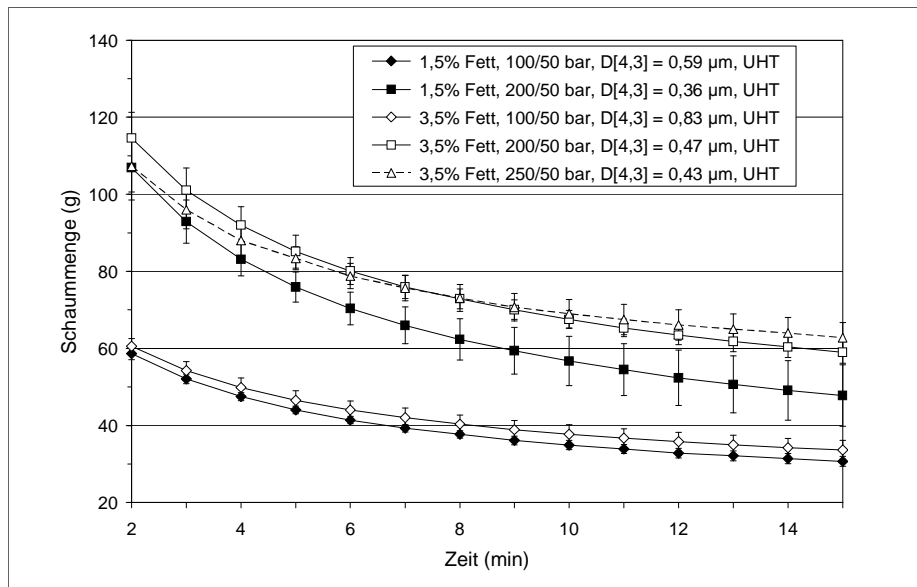


Abb. 4: Abnahme der Schaummenge nach dem Aufschäumen von unterschiedlich homogenisierter, ultrahocherhitzter Milch mit 1,5 und 3,5% Fett

Bei der ultrahocherhitzten Magermilch schaltete der Milchaufschäumer bereits nach ca. 2:25 min ab, so dass die Temperatur beim Abgießen der heißen Milch nach 1 min nur zwischen 65 und 68 °C lag. Dennoch resultierte eine große Schaummenge (nach 2 min noch über 110 g, siehe Abb. 2), die aber relativ schnell abnahm und nach 15 min nur noch etwa 45 g erreichte. Der relativ hohe Variationskoeffizient von 4,36% deutet an, dass ähnlich wie bei der pasteurisierten Magermilch der Einfluss der 3 unterschiedlichen Chargen wirksam war (siehe 3.1). Ein lichtmikroskopisches Bild des Schaums aus UHT-Magermilch nach 4 und 30 min zeigt Abb. 6 e und f.

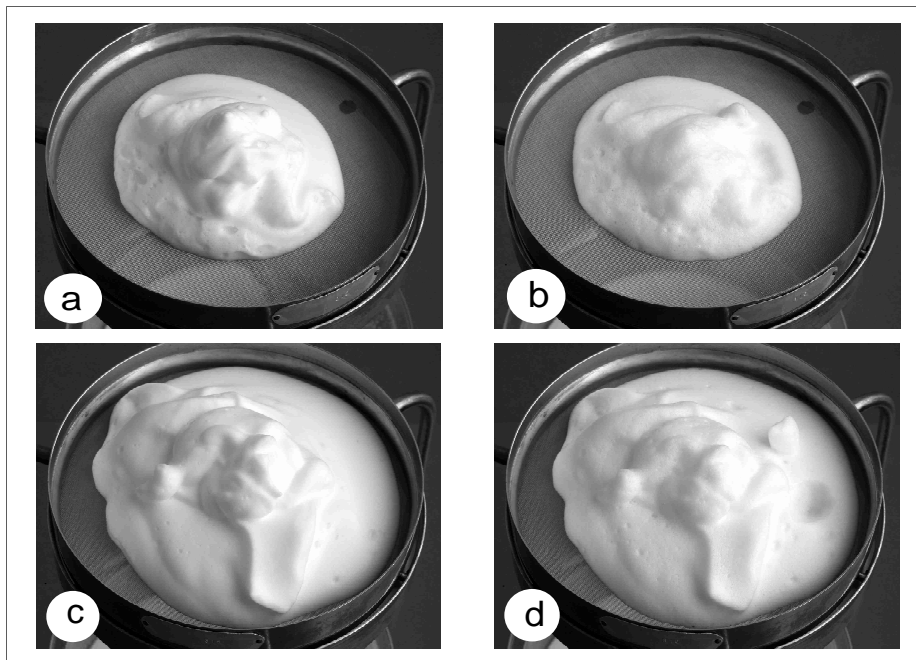


Abb. 5: Schaum aus unterschiedlich homogenisierter (a, b:100/50 bar; c, d: 200/50 bar), ultrahocherhitzter Milch, 2 min (a, c) und 30 min (b, d) nach dem Aufschäumen

3.3 Spezielle Handelsprodukte für Milchschaum

Die beiden Handelsprodukte mit erhöhtem Eiweißgehalt (3,8 und 3,9%) und einem zugesetzten Hydrokolloid wiesen niedrige D[4,3]-Werte von 0,34 bzw. 0,29 μm auf (s. Abb. 8). Bei Produkt 1, von dem zwei Packungen mit unterschiedlichen Mindesthaltbarkeitsdaten ein- bzw. zweimal getestet wurden (12 Messungen), schaltete das Aufschäumgerät nach 2:20 min (± 5 s) ab, bei Produkt 2 (ein MHD, 2 x 4 Messungen) nach 2:10 min (± 10 s). Beim Abgießen der heißen Milch lag deren Temperatur zwischen 64 und 67 °C bzw. zwischen 63 und 67 °C. Der Deckel des Gerätes blieb immer schaumfrei. 2 min nach Abschalten des Gerätes waren noch durchschnittlich über 110 g (55%) auf dem Sieb, nach 15 min hatte sich die Menge auf knapp 70 bzw. knapp 60 g reduziert. Die Drainageflüssigkeit konnte bei Produkt 1 nicht immer kontinuierlich ablaufen. Das enthaltene Hydrokolloid hatte offensichtlich eine höhere Viskosität bewirkt, die ein Passieren des Drahtnetzes nicht immer gewährleistete. 2 Versuche mit solch einem atypischen Verlauf wurden in der Darstellung von Abb. 8 nicht berücksichtigt. Trotz der modifizierten Zusammensetzung der Handelsprodukte waren die erzielten Schaum-

mengen unter den gegebenen Bedingungen nicht größer und die Schaumabnahme im Zeitverlauf nicht geringer als bei den selbst hergestellten UHT-Vollmilchproben, die mit 200/50 bzw. 250/50 bar homogenisiert worden waren.

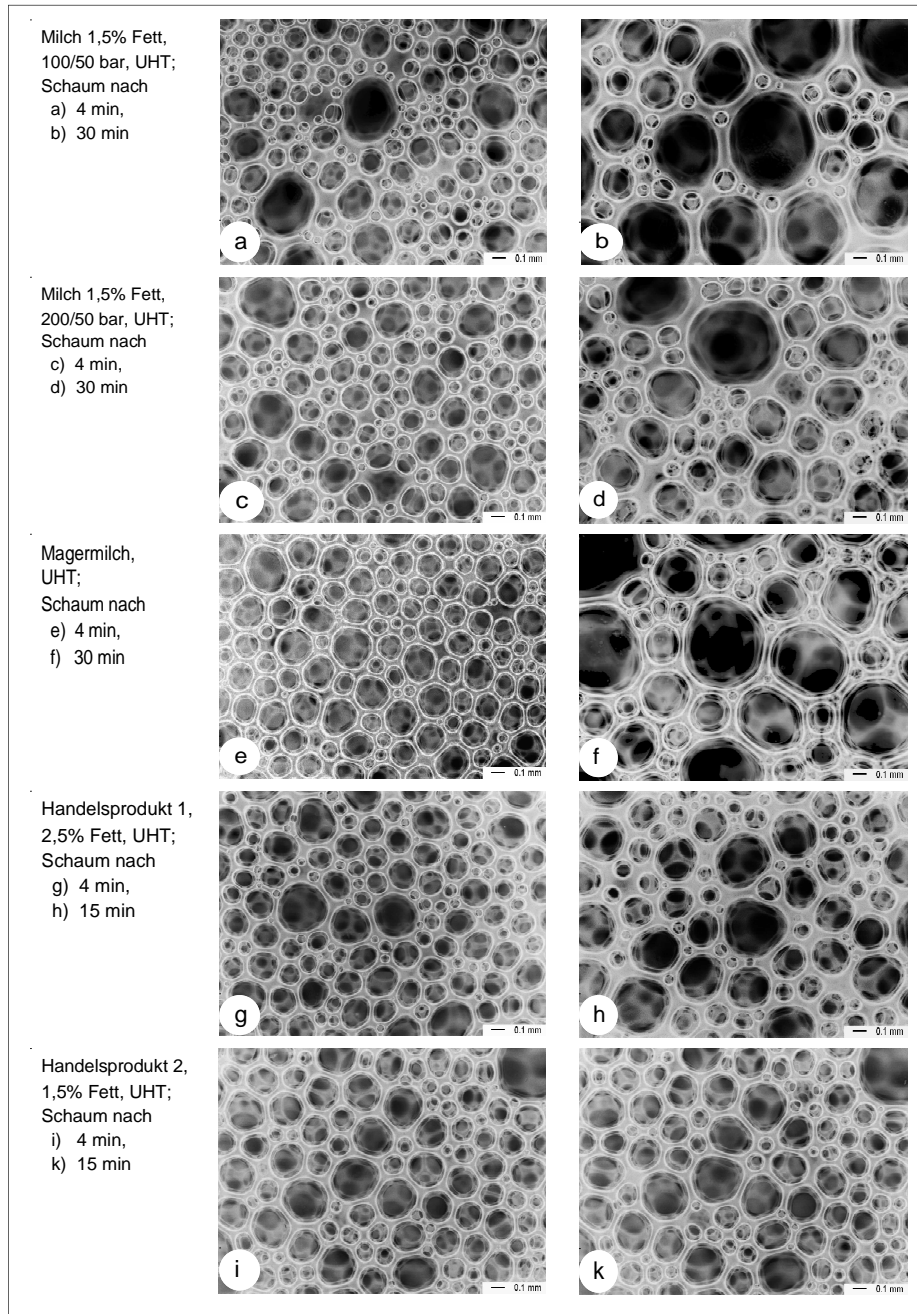


Abb. 6: Lichtmikroskopische Aufnahmen von unterschiedlichen Schäumen

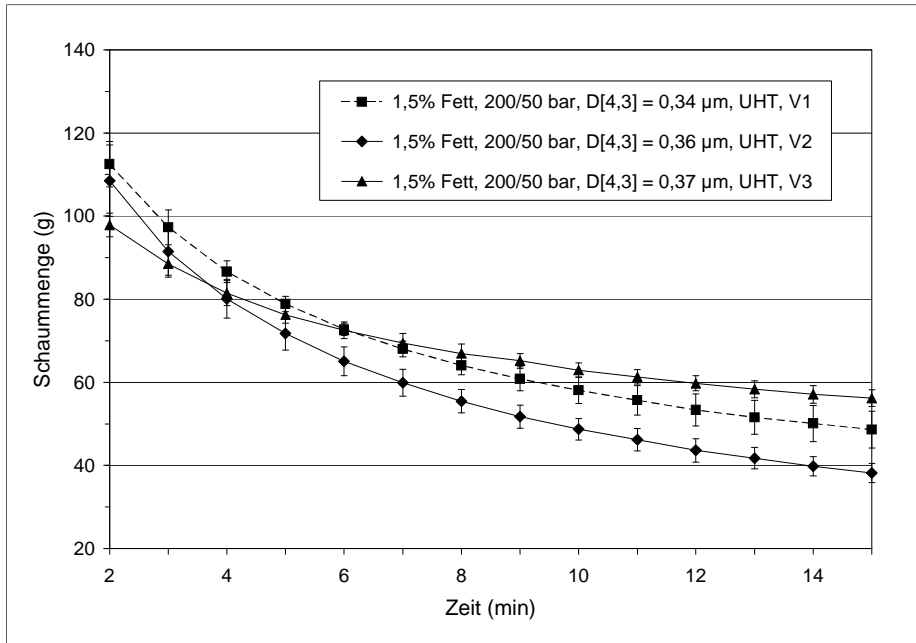


Abb. 7: Abnahme der Schaummenge nach dem Aufschäumen von homogenisierter, ultrahocherhitzter Milch mit 1,5% Fett; V1, V2, V3: unterschiedliche Milchchargen

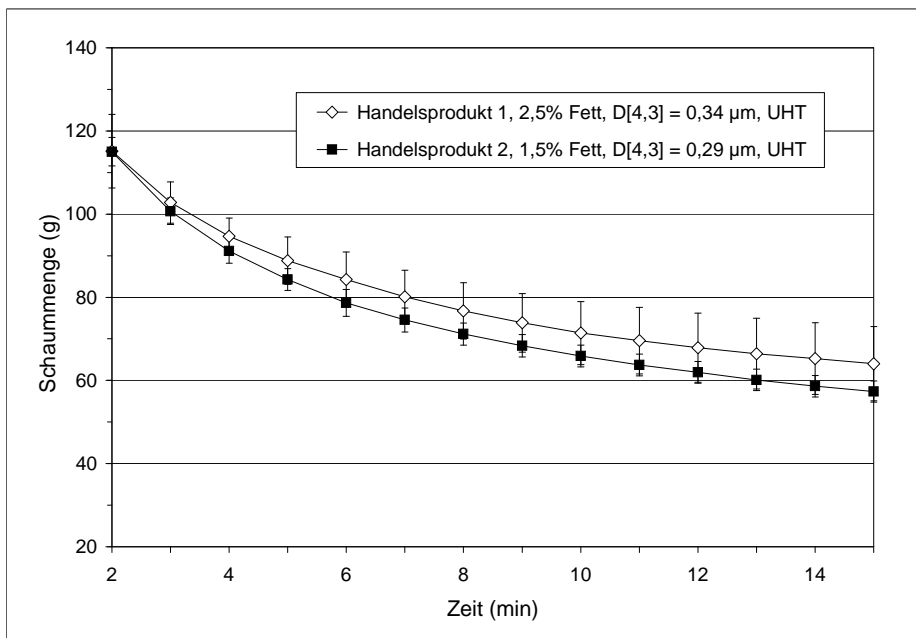


Abb. 8: Schaumabnahme nach Aufschäumen von zwei Handelsprodukten

4. Diskussion

Die Versuche wurden mit einem automatischen Aufschäumgerät aus dem Handel durchgeführt, das nach dem Urteil einer Verbraucherzeitschrift einen sehr guten Milchschaum erzeugen kann. Eine Besonderheit des Gerätes war, dass die kalte Milch während ihrer Erhitzung auf über 70 °C kontinuierlich aufgeschlagen wurde. Diese Art des Aufschäumens unterschied sich von den meisten anderen, in der Literatur beschriebenen Methoden, die von einer konstanten Produkttemperatur ausgingen. Dort wurden sowohl Temperaturen deutlich unterhalb des Klarschmelzpunktes reinen Milchfettes (35-37 °C) als auch wesentlich höhere gewählt. Im Bereich von 5-15 °C wurde mit zunehmendem Fettgehalt (0-1,5%) und zunehmender Temperatur eine abnehmende Schaumbildung gefunden, während das Zusammenfallen des Schaums hiervon weitgehend unabhängig war (17). Beim Aufschlagen von kalter Milch bzw. insbesondere von gekühlter Sahne spielt kristallisiertes Milchfett eine wesentliche Rolle für die Schaumbildung und -stabilisierung. Bei Temperaturen oberhalb von 40 °C mit ausschließlich flüssigem Fett dominiert die Proteinstabilisierung der Luftblasen. Dies trifft auch für die schon zitierten Versuche von Borchering (20) und Hoffmann, Wieczorek und Borchering (21) zu, in denen die Milch vorwiegend bei 50 °C aufgeschäumt wurde. In den Versuchen mit dem automatischen Milchaufschäumer durchlief das in kleinen Fettkugeln verteilte Fett innerhalb von 3 min einen großen Temperaturbereich zwischen 5 und über 70 °C. Zu berücksichtigen ist hier, dass fein emulgiertes Fett ein anderes Kristallisationsverhalten wie separat vorliegendes Milchfett zeigt. Offensichtlich benötigen die Fettkügelchen zur Kristallisation eine tiefere Temperatur, die mit abnehmender Kugelgröße weiter sinkt, außerdem als notwendige Voraussetzung zumindest einen Kristallisationskern (28, 29). Daher enthielt die kalte fetthaltige Milch vor dem Aufschäumen vermutlich nur einen geringeren Anteil kristallisierten Fettes, der durch das indirekte Erhitzen beim Aufschäumen schnell flüssig wurde. Vorzeitig abgebrochene Versuche zeigten, dass die Milchtemperatur nach 30 s bereits um etwa 10 °C angestiegen war, nach 60 s schon um über 25 °C. Zu ergänzen wäre hier noch, dass die Schaumbildung innerhalb der ersten Minute bereits zu einer beachtlichen Schaummenge führte, die allerdings noch wenig stabil war.

Insgesamt führten die Aufschäumversuche zu gut reproduzierbaren Ergebnissen. Beim Aufschäumen der Milch mit 1,5 und 3,5% Fett bildeten alle pasteurisierten sowie die ultrahocherhitzten Proben, die mit 100/50 bar homogenisiert wurden, nur geringe Schaummengen. Unter den pasteurisierten Proben zeigten die mit 200/50 bar homogenisierten und 3,5% Fett noch das beste Schaumvermögen. Bei einer Ultrahocherhitzung bewirkte die Erhöhung des Homogenisierdrucks bei den fetthaltigen Proben dagegen fast eine Verdopplung der Schaummenge im gesamten Drainageverlauf. 2 min nach dem Abgießen der heißen Milch lag sie bei etwa 55% der eingesetzten Milchmenge. Prins (22) sowie Mulder und Walstra (30) hatten festgestellt, dass größere Fettkugeln eher in der Lage sind, an Luftblasen zu adsorbieren und an der Grenzschicht freies Fett zu entlassen, das dann koalesziert und teilweise die Grenzschicht bedeckt. Kleinere Fettkugeln könnten auf diese Art die Proteinstabilisierung der Luftblasen weniger beeinflussen. Dies kann auch als Erklärung für die hier vorliegenden Ergebnisse dienen. Zu erwähnen bleibt noch, dass die Vollmilchproben mit zunehmender Drainagezeit mehr Schaum zurückbehielten als die Proben mit 1,5% Fett.

Das Schaumverhalten von ultrahocherhitzter Magermilch war dem von gleich erhitzter Milch mit 200/50 bar und 1,5% Fett sehr ähnlich. Offensichtlich wirkten sich hier sehr kleine Fettkugeln nicht negativ auf Schaumbildung und -stabilität aus. Deutlich andere Ergebnisse resultierten bei pasteurisierten Proben, bei denen die Magermilch den fetthaltigen Proben klar überlegen war. Dies widerspricht den Ergebnissen von Hoffmann, Wieczorek und Borchering (21), die keine durch die Wärmebehandlung bedingten

Unterschiede fanden. Möglicherweise beeinflusst aber die stärkere thermische Denaturierung der Molkenproteine durch die Ultrahocherhitzung das Schaumvermögen, indem diese sich verstärkt an der sekundären Fettkugelmembran anlagern, sie stabilisieren und so die Fettkoaleszenz an der Grenzfläche mindern.

Die Handelsprodukte zeigten im automatischen Milchaufschäumer in Bezug auf Schaummenge und Drainageverlauf ein gleich gutes, aber auch kein besseres Verhalten als die stark homogenisierten UHT-Vollmilchproben. Offensichtlich hatten die ergänzend enthaltene Milcheiweißmenge und das hydrolysierte Weizenprotein, dem schaumfördernde Eigenschaften zugeschrieben werden, hier keinen zusätzlichen Nutzen. Unter anderen bzw. weniger geeigneten Aufschäumbedingungen könnte sich aber eine andere Relation ergeben.

5. Literatur

- (1) Bals, A.: Verfahrenstechnik und Substratfaktoren beim Aufschäumen mit Membranen. Dissertation, Technische Universität München (2002)
- (2) Bos, M., Nylander, T., Arnebrant, T., Clark, D.C.: Protein/emulsifier interactions. In: Hasenhuettl, G.L., Hartel, R.W. (eds.); Food emulsifiers and their applications, Chapman & Hall, New York, 95-146 (1997)
- (3) Caessens, P.W.J.R., Visser, S., Gruppen, H., van Aken, G.A., Voragen, A.G.J.: Emulsion and foam properties of plasmin derived β -casein peptides. *International Dairy Journal* **9** 347-351 (1999)
- (4) Caessens, P.W.J.R., Visser, S., Gruppen, H., Voragen, A.G.: β -Lactoglobulin hydrolysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **47** 2973-2979, 2980-2990 (1999)
- (5) Clarkson, J.R., Cui, Z.F., Darton, R.C.: Protein denaturation in foam. *Journal of Colloid and Interface Science* **215** 323-338 (1999)
- (6) Damodaran, S.: Protein stabilization of emulsions and foams. *Journal of Food Science* **70** R54-R66 (2005)
- (7) Dickinson, E.: Interfacial, emulsifying and foaming properties of milk proteins. In: Fox, P.F., McSweeney, L.P.H. (eds.); *Advanced Dairy Chemistry – 1 Proteins*, Kluwer Academic-/Plenum Publishers, New York (2003)
- (8) Hettiarachchy, N.S., Ziegler, G.R. (Eds.): *Protein functionality in food systems*. Marcel Dekker, New York (1994)
- (9) Patel, G.C.: Structure and foaming properties of peptides isolated from a casein hydrolysate. PhD thesis, Pennsylvania State University, USA (1994)
- (10) Phillips, L.G.: Relationship between structural, interfacial and foaming properties of β -lactoglobulin. PhD dissertation, Cornell University, Ithaca, New York (1992)
- (11) Rantamäki, P., Tossavainen, O., Outinen, M., Tupasela, T., Koskela, P., Kaunismäki, M.: Functional properties of the whey protein fractions produced in pilot scale processes. Foaming, water-holding capacity and gelation. *Milchwissenschaft* **55** 569-572 (2000)
- (12) Slattery, H., Fitzgerald, R.J.: Functional properties and bitterness of sodium caseinate hydrolysates prepared with a *Bacillus* proteinase. *Journal of Food Science* **63** 418-422 (1998)
- (13) Ströbel, D.: Schaumbildungseigenschaften von Milchproteinfraktionen und -hydrolysaten. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität Kiel (2007)
- (14) Van der Ven, C.: Biochemical and functional characterisation of casein and whey hydrolysates. A study on the correlations between biochemical and functional properties using multivariate data analysis. Dissertation, University Wageningen, NL (2002)
- (15) Wilde, P.J., Clark, D.C.: 5. Foam formation and stability. In: Hall, G.M. (ed.); *Methods of testing protein functionality*, Chapman & Hall, UK, 111-152 (1996)
- (16) Zayas, J.F.: *Functionality of proteins in food*. Springer-Verlag, Berlin, 261 ff (1997)
- (17) Anderson, M., Brooker, B.E.: Dairy foams. In: Dickinson, E., Stainsby, G. (Eds.); *Advances in food emulsions and foams*, Elsevier Applied Science, London, pp. 221 -255 (1988).
- (18) Brooker, B.E.: Observation on the air-serum interface of milk foams. *Food Microstructure* **4** 289-296 (1985)

- (19) Brooker, B.E.: The stabilization of air in foods containing fat – a review. *Food Structure* **12** (1) 115-122 (1993)
- (20) Borchering, K.: Untersuchungen zur Charakterisierung der Makro- und Mikrostruktur von Milchsäumen. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität Kiel (2004)
- (21) Hoffmann, W., Wiczorek, A., Borchering, K.: Untersuchungen zur Bildung und Stabilität von Milchschaum. *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte* **54** 243-252 (2002)
- (22) Prins, A.: Some physical aspects of aerated milk-products. *Netherlands Milk Dairy Journal* **40** 203-215 (1986)
- (23) Ward, B.R., Goddard, S.J., Augustin, M.A., McKinnon, I.R.: EDTA-induced dissociation of casein micelles and its effect on foaming properties of milk. *Journal of Dairy Research* **64** 495-504 (1997)
- (24) Siedel, J., Hesse, A.: Über das Schäumen der Milch bei der Entrahmung mittels Zentrifugen. *Molkerei-Zeitung* **14** 637-638, 654-656 (1900)
- (25) Rahn, O.: Die Bedeutung der Oberflächenspannungsercheinungen für den Molkereibetrieb. *Kolloid-Zeitschrift* **15** 341-346 (1922)
- (26) Schrader, K., Borchering, K.: Ansätze zur transmissionselektronenmikroskopischen Darstellung milchhaltiger Schäume. DEHEMA/VDI-GVC-Symposium: Schäume – Grundlagen und Anwendungen, Baden-Baden, 16./17.11.2004
- (27) Hoffmann, W., Borchering, K., Denker, M., Parat-Wilhelms, M., Luger, A., Steinhart, H.: Einfluss definierter Milchgetränke auf Geruch und Geschmack eines standardisierten Kaffeegetränks. *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte* **56** 121-133 (2004)
- (28) Söderberg, I., Hernqvist, L., Buchheim, W.: Milkfat crystallisation in natural milk fat globules. *Milchwissenschaft* **44** 403-406 (1989)
- (29) Walstra, P., Geurts, T.J., Noomen, A., Jellema, A., Boekel, M.A.J.S. van: *Dairy Technology*. Marcel Dekker, New York (1999)
- (30) Mulder, H., Walstra, P.: The milk fat globule. PUDOC, Wageningen, NL, Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, GB (1974)

6. Zusammenfassung

W. Hoffmann: **Untersuchungen zur Milchschaumbildung und -stabilität in einem automatischen Aufschäumergerät**. *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte* **59** (1) 55-68 (2007)

21 Milchwirtschaftliche Technologie (Schaumbildung)

Für die Untersuchungen wurde Magermilch sowie unterschiedlich homogenisierte Milch (100/50 bzw. 200/50 bar) mit 1,5 und 3,5% Fett pasteurisiert oder ultrahocherhitzt. Außer diesen aus frischer Rohmilch hergestellten Proben wurden zwei ultrahocherhitzte Milcherzeugnisse mit 2,5 und 1,5% Fett aus der Milchindustrie einbezogen, die im Eiweißgehalt angereichert und speziell zum Aufschäumen bestimmt waren. Die auf 5 °C gekühlten Proben wurden in einem automatischen Aufschäumergerät aus dem Handel innerhalb von ca. 3 min auf über 70 °C indirekt erhitzt und dabei mit rotierenden Drahtflügeln in einem zylindrischen Behälter geschlagen. Nach der automatischen Abschaltung des Gerätes wurde die nicht aufgeschäumte Milchmenge abgegossen und das Schaumgefäß umgekehrt auf ein Drahtsieb gestellt, so dass allein der gebildete Schaum zurückblieb. Die Schaummenge 2 bis 15 min nach dem Abgießen der Milch wurde über eine Waage erfasst.

Beim Aufschäumen der Milch mit 1,5 und 3,5% Fett bildeten alle pasteurisierten sowie die ultrahocherhitzten Proben, die mit 100/50 bar homogenisiert wurden, nur geringe Schaummengen. Unter den pasteurisierten Proben zeigten die mit 200/50 bar homogenisierten und 3,5% Fett noch das beste Schaumvermögen. Bei einer Ultrahocherhitzung

bewirkte die Erhöhung des Homogenisierdrucks dagegen fast eine Verdopplung der Schaummenge im gesamten Drainageverlauf. 2 min nach dem Abgießen der heißen Milch lag sie bei etwa 55% der eingesetzten Milchmenge. Mit zunehmender Drainagezeit behielten die Vollmilchproben aber mehr Schaum zurück als die Proben mit 1,5% Fett. Das Schaumverhalten von ultrahoherhitzter Magermilch war dem von gleich erhitzter Milch mit 200/50 bar und 1,5% Fett sehr ähnlich. Offensichtlich wirkten sich hier sehr kleine Fettkugeln nicht negativ aus. Deutlich andere Ergebnisse resultierten bei pasteurisierten Proben, bei denen die Magermilch den fetthaltigen Proben klar überlegen war. Die Handelsprodukte zeigten im automatischen Milchaufschäumer in Bezug auf Schaummenge und Drainageverlauf ein gleich gutes, aber auch kein besseres Verhalten als die stark homogenisierten UHT-Vollmilchproben.

Summary

W. Hoffmann: **Investigation into the formation and stability of milk foam in an automatic foaming device.** Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte **59** (1) 55-68 (2007)

21 Dairy Technology (foam formation)

For the investigations skimmed milk as well as differently homogenized milk (100/50 and 200/50 bar) with 1.5 and 3.5% fat content were pasteurized or subjected to an ultra-high heat treatment. In addition to the samples manufactured from fresh raw milk two commercial UHT milk products (2.5 and 1.5% fat) which had an enriched protein content, and which were intended particularly for foaming purposes, were considered. The samples cooled on 5 °C were indirectly heated in an available automatic foaming device for approx. 3 min to over 70 °C, and simultaneously whipped with rotary wire wings in a cylindrical container. After automatic disconnection of the device the un-foamed milk quantity was poured off and the foam container was placed topsy-turvy on a wire gauze, so that only the formed foam was left. The foam quantity was weighted on scales 2 to 15 min after the pouring-off of the milk.

After foaming of milk with a fat content of 1.5 and 3.5%, all the pasteurized and also the ultra-high heated samples, which were homogenized with 100/50 bar, showed only small quantities of foam. The best foaming ability was more or less obtained with the samples homogenized at 200/50 bar and with a fat content of 3.5%. In the case of an ultra-high heating the increase of the homogenization pressure caused nearly a duplication of the foam quantity during the entire drainage course. 2 min after the pouring-off of the hot milk the foam quantity was at approximately 55% of the applied milk quantity. With increasing drainage time the whole milk samples retained however more foam than the samples with 1.5% fat. The foam behaviour of ultra-high heated skimmed milk was very similar to that of milk (1.5% fat) heated homogenously with 200/50 bar. Obviously very small fat globules had no negative effect. Completely different results were found for pasteurized samples, where skimmed milk was clearly superior to fat-containing samples. In the automatic foaming device the commercial products showed an equally good but no better behaviour than the strongly homogenized UHT whole milk samples.

Résumé

W. Hoffmann: **Etudes sur la formation et la stabilité de mousse laitière dans un automate de moussage**. Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte **59** (1) 55-68 (2007).

21 Technologie laitière (formation de mousse)

Pour les analyses, du lait écrémé ainsi que du lait différemment homogénéisé (100/50 et/ou 200/50 bar) contenant 1,5 et 3,5% de matière grasse ont été pasteurisés ou stérilisés à ultra haute température. En outre de ces deux échantillons provenant de lait cru frais, deux produits laitiers stérilisés à ultra haute température contenant 2,5 et 1,5% matière grasse, à teneur enrichie en protéines et destinés spécialement au moussage, ont été pris en considération. Les échantillons refroidis à 5 °C ont été chauffés indirectement dans un automate de moussage commercial durant environ 3 min à plus de 70 °C et frappés avec des ailes de fil rotatives dans un récipient cylindrique. Après la coupure automatique de l'appareil, la quantité laitière non-moussée fut décantée et le récipient de mousse placé inversement sur un filtre de fil, de sorte que seulement la mousse formée était retenue. La quantité de mousse 2 à 15 min après le décantage du lait a été saisie sur une balance.

Lors du moussage du lait contenant 1,5 et 3,5% de la matière grasse, tous les échantillons pasteurisés ainsi que les échantillons stérilisés à ultra haute température, ayant été homogénéisés avec 1,5 bar, ne formaient que de faibles quantités de mousse. Parmi les échantillons pasteurisés, ceux ayant été homogénéisés avec 200/50 bar et contenant 3,5% de matière grasse ont démontré la meilleure capacité de formation de mousse. Lors d'une stérilisation à ultra haute température, l'augmentation de la pression d'homogénéisation a provoqué en revanche presque un doublement de la quantité de mousse au cours du drainage total. 2 min après le décantage du lait chaud la mousse était à environ 55% de la quantité laitière appliquée. Avec un temps de drainage croissant, les échantillons de lait entier ont toutefois conservé plus de mousse que les échantillons avec 1,5% de matière grasse. Le comportement de la mousse du lait écrémé et stérilisé à ultra haute température était très semblable à celui du lait chauffé de manière constante avec 200/50 bar et contenant 1,5% de matière grasse. Des globules de matière grasse très petites n'avaient donc pas d'effet négatif. D'autres résultats ont été obtenus pour les échantillons pasteurisés où le lait écrémé était clairement supérieur aux échantillons contenant de la matière grasse. Dans l'automate de moussage, les produits commerciaux ont démontré un comportement égal mais pas supérieur point de vue quantité de mousse et cours du drainage que les échantillons UHT fortement homogénéisés de lait entier.