

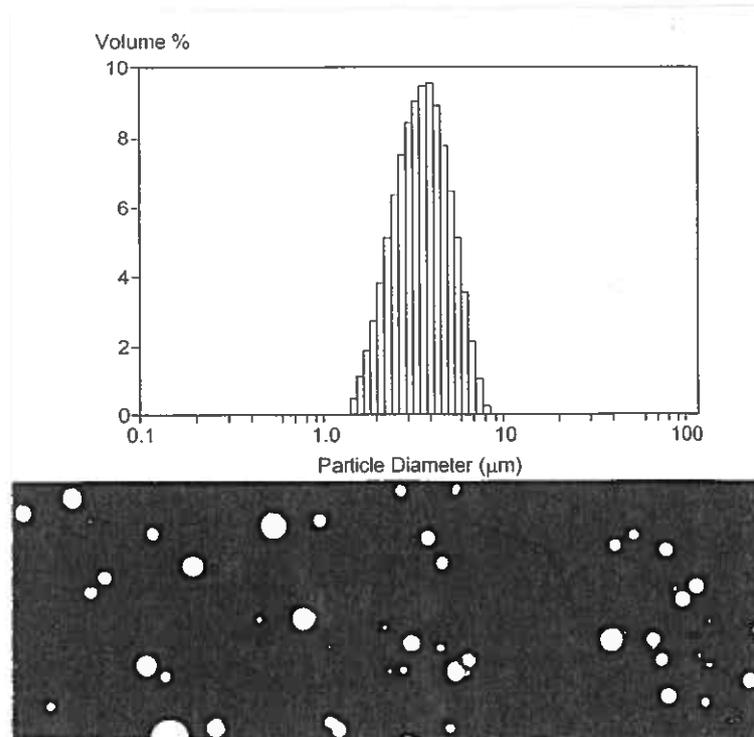


April 1996 311 P/W

Forschungsanstalt  
für Milchwirtschaft  
CH-3097 Liebefeld-Bern

## Homogenisieren von Pastmilch

P. Eberhard, W. Strahm und P.U. Gallmann



# Homogenisieren von Pastmilch

P. EBERHARD, W. STRAHM, P.U. GALLMANN

Eidg. Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, 3097 Liebefeld-Bern

Eingereicht am 25. August 1995

Die Auswirkungen des Homogenisationsdruckes auf die Fettverteilung und das Aufrahmverhalten in Milch wurden nach 1 Tag und nach 8 Tagen Lagerung bei 4 °C untersucht. Vollmilch wurde mit einer Temperatur von 78 °C und 16 s Heisshaltung pasteurisiert. Die Homogenisation erfolgte bei einer Temperatur von 65 °C mit 4 Varianten: 70, 100 und 130 bar Druck vor der Pasteurisation sowie 100 bar nach der Erhitzung. Es konnte eine nichtlineare Abhängigkeit der Partikelgrösse vom Homogenisationsdruck abgeleitet werden. Mit steigendem Homogenisationsdruck wurde weniger lösliches  $\beta$ -Lactoglobulin gefunden. Unter Berücksichtigung der festgestellten Abhängigkeiten zwischen Homogenisationsdruck und Aufrahmverhalten, bzw. Partikelgrösse und Homogenisationsgrad konnten Empfehlungen zu einem optimierten Homogenisationsdruck an die Praxis abgegeben werden: Homogenisation vor bzw. nach der Erhitzung ergab einige interessante Unterschiede. So wies die Milch, welche erst nach der Pasteurisation homogenisiert wurde, im Mittel grössere Partikel, einen tieferen Homogenisationsgrad und nach einer Woche Lagerung bei 4 °C eine geringfügig stärkere Aufrahmung auf.

## Einleitung

Durch Homogenisieren wird das Aufrahmen der pasteurisierten Milch verzögert, so dass diese während der beschränkten Konsumationsfrist relativ homogen

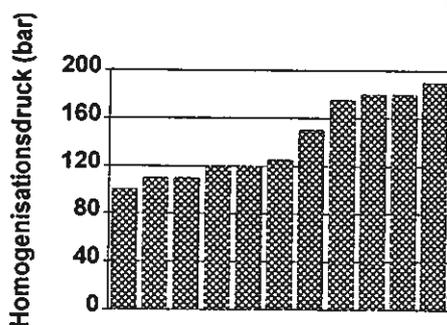


Abb. 1: Erhebung des Homogenisationsdruckes bei der Herstellung von pasteurisierter Milch in 11 Verarbeitungsbetrieben.

bleibt. Gemäss den seit 1985 regelmässig erhobenen Daten zu den Prozessparametern in der schweizerischen Praxis (ZVSM-Qualitätskontrollen) liegt der Homogenisationsdruck bei der industriellen Milchverarbeitung zwischen 100 und 190 bar (Abbildung 1) (2). Man kann sich hier die Frage nach dem optimalen oder dem minimalen Homogenisationsdruck für pasteurisierte Milch stellen. Unter dem Stichwort „Minimal Processing“, aber auch unter dem Frischeaspekt, welcher diesem Produkt zugeschrieben wird, muss eindeutig das der Haltbarkeit angepasste Minimum interessieren (5). Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, den Homogenisationsprozess für Pastmilch hinsichtlich der beiden Aspekte, minimale Aufrahmung und Prozessintensität zu optimieren.

Tabelle 1: Beschreibung der eingesetzten Rohmilch

Parameter	Einheit	Mittelwert (n=4)
Fett	g/kg	39.3
Gefrierpunkt	°C	-0.528
$\beta$ -Lactoglobulin	mg/L	3651
Partikelgrösse (Mittel)	$\mu\text{m}$	3.770

## Volume %

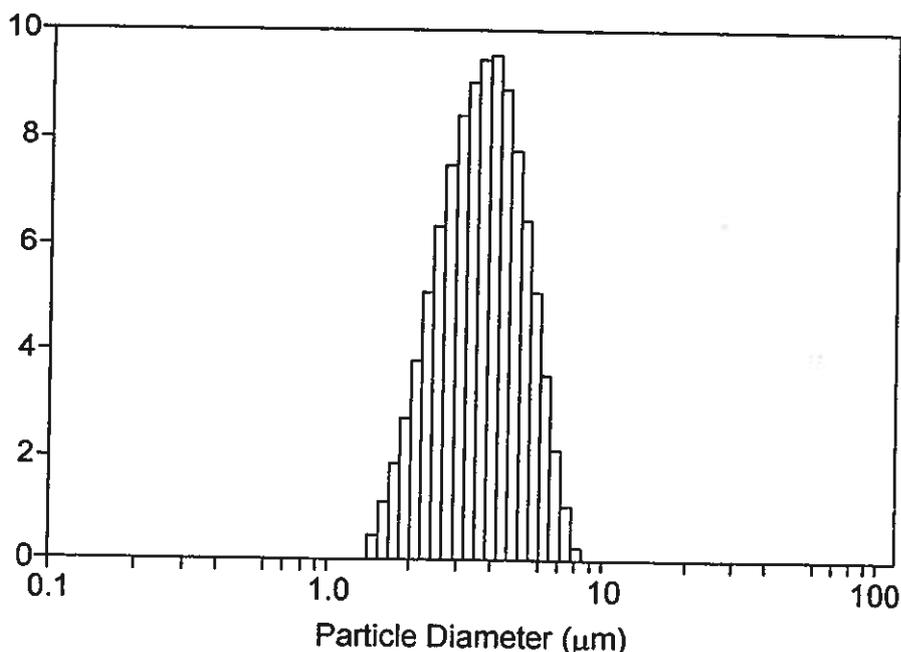


Abb. 2: Grössenverteilung der Fettkügelchen in unbehandelter Milch

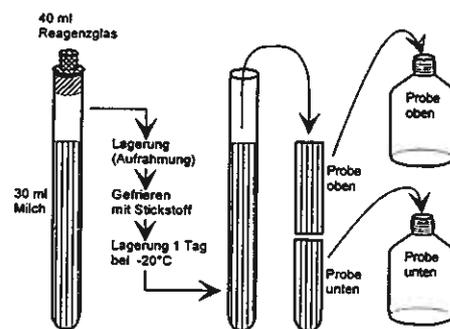


Abb. 3: Zonale Untersuchung zur Bestimmung der Aufrahmungsstabilität

## Material und Methoden

Rohmilch aus einer Milchsammelstelle wurde während 24 Stunden bei 4 °C gelagert und anschliessend pasteurisiert (Pilotanlage 150 L/h). Die eingesetzte Milch hatte in allen 4 Wiederholungen normale Gehalte, welche als Mittelwerte in Tabelle 1 zusammengestellt sind. Die Fettkügelchen hatten einen mittleren Durchmesser von 3.770  $\mu\text{m}$  mit einer Standardabweichung von 0.057 (Abbildung 2). Die Pasteurisation erfolgte bei einer Temperatur

von 78 °C und 16 s Heisshaltezeit. Die Homogenisationstemperatur betrug in allen Fällen 65 °C. Variiert wurde der Homogenisationsdruck (70, 100 und 130

bar). Bei 100 bar Druck wurde zusätzlich eine Variante mit Homogenisation nach der Pasteurisation durchgeführt. Die behandelte Milch wurde bei 4 °C gelagert

und nach 1 Tag sowie nach 8 Tagen untersucht.

#### Untersuchungsmethoden

Der Fettgehalt wurde butyrometrisch bestimmt (8). Die Bestimmung des Homogenisationsgrades erfolgte nach Zentrifugation (1500 G; 15 Minuten) durch zonale Fettgehaltsbestimmung (8). Die Partikelgröße wurde mittels Coulter LS-Gerät (Biorade) ermittelt (7). Die Bestimmung des löslichen  $\beta$ -Lactoglobulin erfolgte mittels HPLC (9). Der Gefrierpunkt wurde nach IDF-Standard bestimmt (1). Für die Bestimmung der Aufrahmung wurden zonale Untersuchungen der Fettfraktion wie folgt vorgenommen: Die Proben wurden vorerst in sterile 500 ml Glasflaschen und anschliessend pro Charge 5 x 30 mL Milch in sterile 40 mL Reagenzgläser abgefüllt. Diese wurden während 8 Tagen senkrecht stehend bei 4 °C gelagert (Aufrahmung). Nach 8 Tagen wurden die Proben während 30 s in flüssigen Stickstoff getaucht. Die anschliessende Lagerung der Proben erfolgte während 24 h bei -20 °C. Nach kurzem Antauen in kaltem Wasser (5 s) erfolgte die Entnahme und zonale Halbierung des Probenmaterials (s. Abbildung 3). Für die Analysen wurden jeweils 2 Proben „oben“ bzw. 2 Proben „unten“ in 100 ml Glasflaschen abgefüllt. Die Analysen erfolgten nach weiteren 24 h Lagerung im Kühlschrank (4 °C).

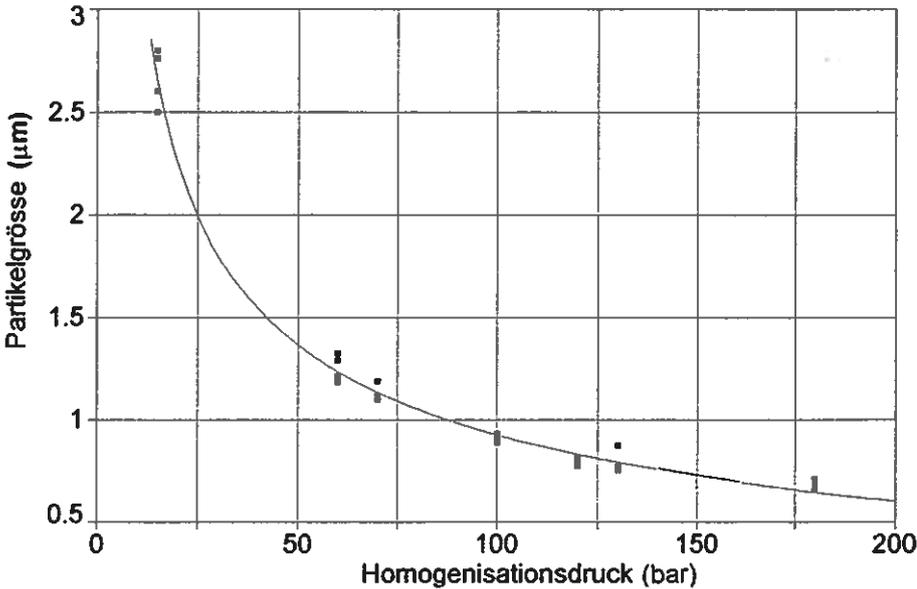


Abb. 4: Zusammenhang zwischen Homogenisationsdruck (bar) und mittlerem Fettkugeldurchmesser (µm).

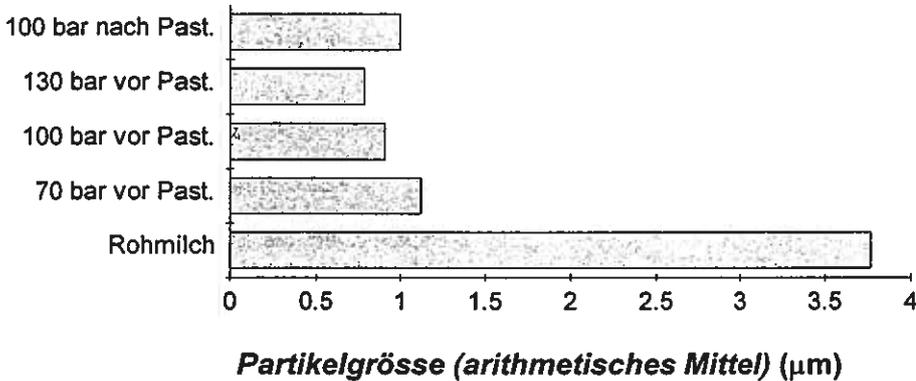


Abb. 5: Mittlere Partikelgröße (µm) in Abhängigkeit der Homogenisationsbedingungen

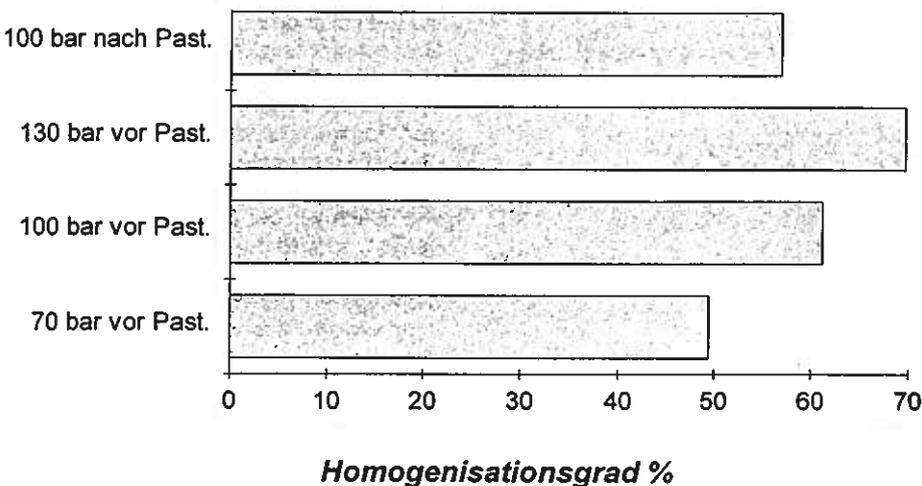


Abb. 6: Homogenisationsgrad (%) in Abhängigkeit der Homogenisationsbedingungen

## Resultate und Diskussion

### Einfluss des Homogenisationsdruckes auf das frische Produkt

In der frischen Pastmilch konnte zwischen Homogenisationsdruck (vor Pasteurisation) und mittlerem Fettkugeldurchmesser folgende logarithmische Beziehung hergeleitet werden.

$$\text{Partikelgrösse}(\mu\text{m}) = -1.557 + \frac{11.424}{\ln(p)}$$

p = Homogenisationsdruck (bar)

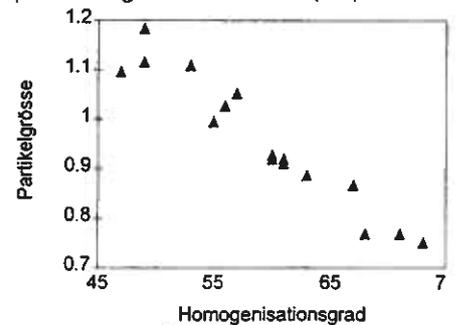


Abb. 7: Zusammenhang zwischen Homogenisationsgrad (%) und mittlerer Partikelgröße (µm; n=16)

Für diese Berechnung wurden Daten früherer Untersuchungen im Bereich bis 180 bar Homogenisationsdruck miteinbezogen (Abbildung 4). Das Homogenisieren nach der Pasteurisation hatte einen leicht grösseren mittleren Durchmesser der Fettkugeln zur Folge als eine Homogenisation vor der Pasteurisation (Abbildung 5).

Der ermittelte Homogenisationsgrad stieg von knapp 50 % bei einem Druck von 70 bar auf 70 % bei 130 bar Druck an (Abbildung 6). Der Homogenisationsgrad war höher, wenn vor der Pasteurisation homogenisiert wurde. Homogenisationsgrad und mittlere Partikelgrösse korrelieren offenbar sehr gut (Abbildung 7). Der lineare Korrelationskoeffizient  $r$  beträgt  $-0.969$ .

Die Beziehung zwischen Partikelgrösse und den löslichem  $\beta$ -Lactoglobulinwerten in Milch mit vergleichbarer Hitzebelastung wurde früher schon festgestellt (3, 4).

Der Anteil an löslichem  $\beta$ -Lactoglobulin in Milch wird durch die Homogenisation in Abhängigkeit des Homogenisationsdruckes geringer. Ein mittlerer Homogenisationsdruck von 120 bar hatte gegenüber

nicht homogenisierter Milch einen um ca. 300 mg/L tieferen  $\beta$ -Lactoglobulin-Wert zur Folge. Der Einfluss der Homogenisation auf das lösliche  $\beta$ -Lactoglobulin bestätigte sich bei diesen Untersuchungen (Abbildung 8).

Auch der Zeitpunkt der Homogenisation ist für den Restgehalt an löslichem  $\beta$ -Lactoglobulin von Bedeutung. Homogenisation nach der Pasteurisation führt zu höheren Werten. Wird die Milch vor der eigentlichen Erhitzung homogenisiert, nimmt offensichtlich mehr  $\beta$ -Lactoglobulin an der Neubildung von Sekundärmembranen teil. Diese Anlagerung von  $\beta$ -Lactoglobulin an die Fettkugel ist übrigens, wie in früheren Versuchen gezeigt, nicht reversibel. Zumindest während der üblichen Lagerzeit von pasteurisierter Milch konnte keine Verschiebung in den löslichen Zustand festgestellt werden (3, 4).

#### Lagerstabilität

Die zonalen Untersuchungen (s. Abbildung 3) nach 8 Tagen Lagerung bei  $4^\circ\text{C}$  charakterisieren das Aufrahmverhalten der pasteurisierten Milch relativ gut. Der Fettgehalt und die Partikelgrösse wurden in den Proben „unten“ und „oben“ be-

stimmt (Abbildung 9). Die Abhängigkeit der zonalen Differenz im Fettgehalt vom Homogenisationsdruck kann im Bereich zwischen 70 und 130 bar durch folgende Gleichung beschrieben werden:

$$\text{Diff. Fettgehalt (g/kg)} = 5.465 + \frac{4144327}{p^2}$$

$p$  = Homogenisationsdruck (bar)

Die Aufrahmggeschwindigkeit ist vom Quadrat des Fettkugelradius abhängig. Da die Fettkugeln mit steigendem Homogenisationsdruck kleiner werden, ist die reziproke Abhängigkeit der zonalen Differenz im Fettgehalt vom Quadrat des Homogenisationsdruckes erklärbar. Die Erhöhung des Homogenisationsdruckes von 70 auf 100 bar verringert die zonale Differenz im Fettgehalt um 4.3 g/kg, die weitere Erhöhung auf 130 bar jedoch nur noch um 1.7 g/kg. Die Homogenisation nach der Pasteurisation hatte eine ausgeprägtere Aufrahmung zur Folge. Nach Sharma und Dalgleish (10) entstehen durch die Homogenisation nach der Pasteurisation festere Sekundärmembranen. Dadurch wird auch die Bildung von Klumpen wahrscheinlicher und die Tendenz zur Aufrahmung nimmt entsprechend zu (11). Dieses Phänomen wirkt sich unter anderem auch auf das Gerinnungsverhalten eingelabter Milch aus, welches bei Homogenisation nach der Pasteurisation geringfügig verschlechtert ist (6).

Die zonale Bestimmung der Partikelgrösse gemäss Abbildung 3 bestätigte im wesentlichen die Befunde der Fettgehaltsbestimmung. Abbildung 10 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Partikelgrösse für die verschiedenen Homogenisationsvarianten. Im Bereich zwischen 1.5 bis  $7\ \mu\text{m}$  ist die Grössenverteilung der Fettkügelchen in der nicht homogenisierten Rohmilch normal. Schon die Homogenisation mit einem Druck von 70 bar bewirkt eine einseitige Verteilung. Das grösste Fettvolumen wird durch Partikel in der Grössenordnung von 0.5 bis  $2.5\ \mu\text{m}$  gebildet. Eine Erhöhung des Homogenisationsdruckes erhöht vor allem den Anteil der Partikel mit kleinem Durchmesser, ohne die maximale Grösse stark zu senken. Wird die Homogenisation nach, statt wie üblich vor der Pasteurisation durchgeführt, so wird der Anteil an Partikeln im Bereich von  $0.5\ \mu\text{m}$  etwas kleiner und derjenige im Bereich zwischen 0.8 und  $2\ \mu\text{m}$  etwas grösser.

Aufgrund der Partikelanalyse war deshalb bei Homogenisation nach der Pasteurisation ein grösserer zonaler Unterschied im Fettgehalt zu erwarten (Abbildung 10). Der Unterschied war jedoch trotz grösserer Partikel und grösserer zonaler Differenz relativ gering. Dies dürfte durch die unterschiedliche Beschaffen-

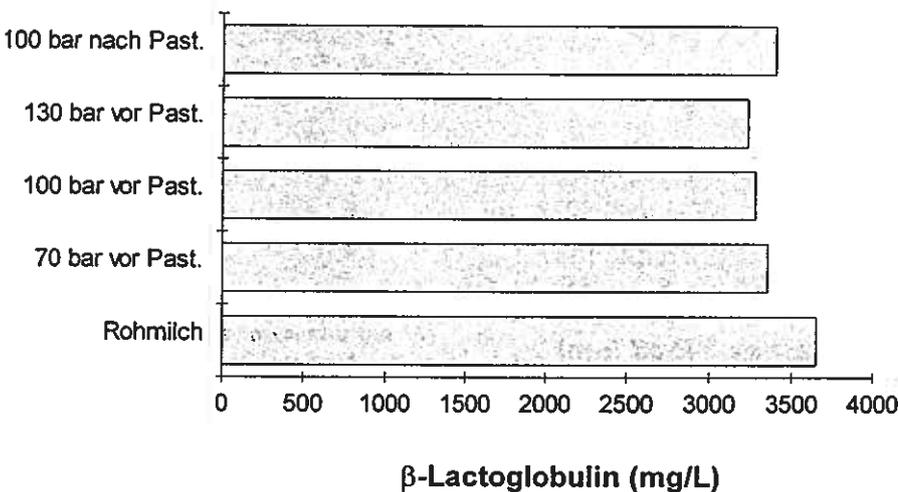


Abb. 8: Lösliches  $\beta$ -Lactoglobulin (mg/L) in Abhängigkeit der Homogenisationsbedingungen

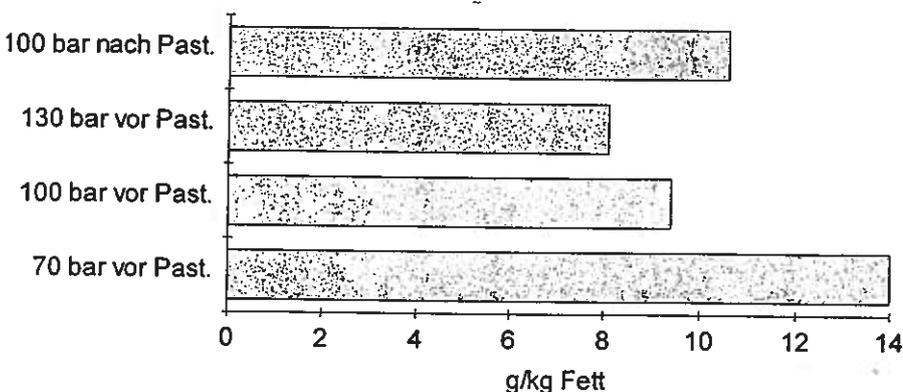


Abb. 9: Differenz im Fettgehalt (oben minus unten) nach 1 Woche Lagerung der Proben bei  $4^\circ\text{C}$

heit der Membran begründet sein. Bei Homogenisation vor der Erhitzung werden mehr Molkenproteine an die Fettflächen angelagert. Dies zeigen die tieferen Werte für das lösliche  $\beta$ -Lactoglobulin. Wird die Milch nach der Erhitzung homogenisiert, bleiben mehr Molkenproteine in Lösung und die Tendenz zur Entmischung ist trotz grösserer Partikel nur unbedeutend grösser.

## Schlussfolgerungen

Pasteurisierte Milch wird in der Regel in homogenisierter Form angeboten. Ausnahmen bilden Kleinstbetriebe, welche meist mit Chargenverfahren arbeiten und zum Teil nicht homogenisieren. Damit kann die relativ geringe Nachfrage nach unhomogenisiertem Produkt in der Praxis abgedeckt werden.

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass beim üblichen Homogenisieren vor der Pasteurisation mit steigendem Homogenisationsdruck ein höherer Homogenisationsgrad und kleinere Partikel resultieren. Die eigentliche Aufrahmungsstabilität während einer 8-tägigen Lagerung wird aber ab einem Druckbereich von ca. 100 bar nicht mehr im gleichen Ausmass verbessert. Ein Homogenisationsdruck von maximal 100 bar genügt offensichtlich, um das Aufrahmen innerhalb der Haltbarkeitsfrist von Pastmilch ausreichend zu verzögern. Voraussetzung ist, dass die Homogenisationsköpfe unbeschädigt sind und die Lagertemperatur  $< 5^\circ\text{C}$  eingehalten wird. Die weitere Erhöhung des Homogenisationsdruckes auf 130 bar brachte bezüglich Aufrahmungsverhinderung vergleichsweise wenig Verbesserungen. Homogenisieren nach der Erhitzung ergibt ein eher schlechteres Aufrahmverhalten, führt aber zu höheren  $\beta$ -Lactoglobulin-Werten.

## Literatur

- 1 BOSSET J.O. und RÜEGG M.: Einfluss der thermischen Behandlung, der Entgasung und der Lagerung auf den Gefrierpunkt und die Dichte der Milch. *Alimenta* **23**, 163-170 (1984)
- 2 EBERHARD, P., GALLMANN, P.U. und Tschumi M.: Pastmilch - ein Qualitätsprodukt. *Schweiz.Milchzeitung* **116** (31), 3 (1990)
- 3 EBERHARD, P., STRAHM, W. und GALLMANN, P.U.: Hitzebelastung von Pastmilch. *Agrarforschung* **1** (11/12), 519-522 (1994)
- 4 EBERHARD, P., STRAHM, W.: Pastmilch:  $\beta$ -Lactoglobulin charakterisiert die Hitzebelastung. *Schweiz.Milchzeitung* **121** (5), 5 (1995)
- 5 FOISSY H.: Frische - ein Thema mit besonderer Haltbarkeit. *DMZ Lebensm.Milchwirtschaft* **116** (1), 72-80 (1995)
- 6 GOSH B.C., STEFFL A., HINRICHS J. und KESSLER H.G.: Rennetability of whole milk homogenized before or after pasteurization. *Milchwissenschaft* **49** (7), 363-367 (1994)
- 7 LUGINBÜHL W.: Qualität kann man messen! *Schweiz. Milchztg.* **119** (38), 5 (1993)
- 8 NN: *Schweiz Lebensmittelbuch Band 2*, Kap. 5. Eidg.Drucksachen und Materialzentrale, Bern (1970)
- 9 RESMINI P., PELLEGRINO L., HOGENBOOM J.A. und ANDREINI R.: Thermal denaturation of whey protein in pasteurized milk. Fast evaluation by HPLC. *Ital.J.Food Sci.* **2**, 51-62 (1989)
- 10 SHARMA S.K. und DALGLEISH D.G.: Effect of heat treatments on the incorporation of milk serum proteins into the fat globule membrane of homogenized milk. *J.Dairy Sci.* **61**, 375-384 (1994)
- 11 VAN BOEKEL M.A.J.S. und WALSTRA P.: Physical changes in the fat globules in unhomogenized & homogenized milk. *IDF-Bulletin* **238**, 13-16 (1989)

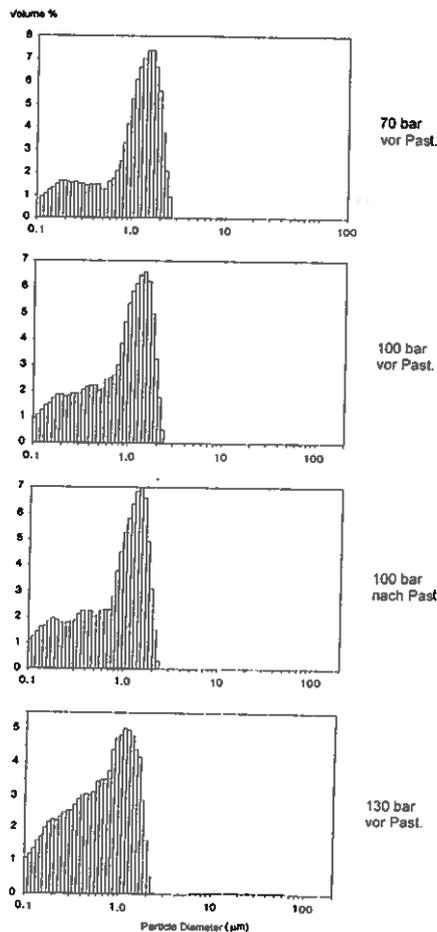


Abb. 10: Partikelgrösse unten und oben nach 1 Woche Lagerung der Proben

## Résumé

### Homogénéisation du lait pasteurisé

P. EBERHARD, W. STRAHM, P.U. GALLMANN  
Schweiz.Milchw.Forschung **24** (4), 66-69 (1995)  
Les effets des conditions d'homogénéisation sur la répartition de la matière grasse et l'écémage du lait pasteurisé ont été étudiés après 1 et 8 jours d'entreposage à  $4^\circ\text{C}$ . A l'occasion des essais décrits ici, le lait a été pasteurisé à une température de  $78^\circ\text{C}$  pendant 16 s. L'homogénéisation a été effectuée à une température de  $65^\circ\text{C}$  selon 4 variations: 70, 100 et 130 bar de pression avant la pasteurisation de même que 100 bar après la pasteurisation. Il ressort de ces observations que la grandeur des particules dépend de façon non linéaire de la pression appliquée lors de l'homogénéisation. Plus la pression d'homogénéisation était importante, moins on a détecté de  $\beta$ -lactoglobuline soluble. Suite à la constatation des dépendances entre pression d'homogénéisation et comportement de l'écémage, soit entre la taille des particules et le degré d'homogénéisation, il a été possible de transmettre à la pratique laitière des recommandations pour une pression d'homogénéisation optimale. Il résulte d'une homogénéisation avant/ après la pasteurisation des différences intéressantes: si le lait est homogénéisé seulement après la pasteurisation, il en résulte des particules en moyenne plus grosses, un degré d'homogénéisation plus bas et, après une semaine d'entreposage à  $4^\circ\text{C}$ , un écémage légèrement plus important.

## Summary

### Homogenization of pasteurized milk

P. EBERHARD, W. STRAHM, P.U. GALLMANN  
Schweiz.Milchw.Forschung **24** (4), 66-69 (1995)  
The effect of homogenization pressure on zonal fat content and extent of creaming was determined after 1 day and 8 days of storage at  $4^\circ\text{C}$ . Whole milk was homogenized at  $65^\circ\text{C}$  at pressures of 70, 100 or 130 bar prior to HTST pasteurization ( $78^\circ\text{C}/16\text{ s}$ ) or 100 bar post to HTST pasteurization ( $78^\circ\text{C}/16\text{ s}$ ). The size of milk fat globules depended in a nonlinear matter on the homogenization pressure. With increasing homogenization pressure the content of soluble  $\beta$ -lactoglobulin decreased. Homogenization of milk before or after pasteurization led to some interesting differences in the size of fat globules and the extent of creaming; post pasteurization homogenization produced milk with larger sized fat globules and a greater tendency to cream upon storage at  $4^\circ\text{C}$ .