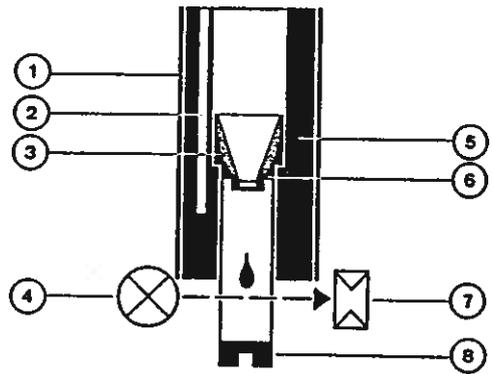


Februar 1990/194 W

Forschungsanstalt  
für Milchwirtschaft  
CH-3097 Liebefeld

# Schmelzeigenschaften von Käse

M. Rüegg



## Schmelzeigenschaften von Käse

M. RÜEGG

B. L. 52

### 1. Einleitung

Sowohl im Haushalts- wie auch im gewerblichen und industriellen Bereich nimmt die Bedeutung von Speisen auf der Basis von geschmolzenem Käse oder mit Zusatz von geschmolzenem Käse ständig zu. Es besteht deshalb ein Bedürfnis zur objektiven Erfassung der Schmelzeigenschaften eines Käseteiges und zur Erweiterung unserer Kenntnisse über die Faktoren, die die Schmelzqualität beeinflussen.

Die Schmelzqualität kann nicht durch einen einzigen physikalischen Parameter beschrieben werden und ebenso kann eine instrumentelle Messung die Sensorik nie vollständig ersetzen. Die instrumentelle Messung der Schmelzeigenschaften wird durch verschiedene Faktoren erschwert wie zum Beispiel die Heterogenität des Käseteiges, die Fettabscheidung, die Formveränderung und Bildung von Temperaturgradienten während der Messung.

Der vorliegende Artikel befaßt sich vorwiegend mit traditionellen Halbhart- und Hartkäsen und insbesondere mit Raclettekäse. Schmelzkäse und Imitationsprodukte werden nur bei der Besprechung der Meßmethoden berücksichtigt.

### 2. Sensorische Beurteilung

Das Schmelzverhalten spielt einerseits für die sensorische Qualität und andererseits für spezifische verarbeitungstechnische Belange eine Rolle. Für letztere können rheologische Meßgrößen von Nutzen sein, deren Beziehung zu sensorischen Merkmalen noch unbekannt ist. Soll jedoch die sensorische Qualität durch instrumentelle Meßgrößen beschrieben oder vorausgesagt werden, muß die Beziehung zu sensorischen Kriterien bekannt sein. Es gibt bisher nur wenige Arbeiten, in denen versucht wurde, diese Beziehung zu ermitteln und zu quantifizieren. Im Falle von geschmolzenem Raclettekäse wurden zwischen fünf sensorischen Parametern (visuelle Fettabscheidung und Aus-

flockung, Viskosität, Konsistenz und Struktur) und dem instrumentell gemessenen Erweichungs- und Tropfpunkt sowie den chemischen Analysen mathematische Beziehungen ermittelt (Abb. 1) (1-3). Beim Raclettekäse aus pasteurisierter Milch wurde zum Beispiel ein hoher Korrelationskoeffizient zwischen der Note für die Struktur (weich-fest) und der Tropfpunkttemperatur (1) ermittelt. Auf die Beziehung zwischen sensorischen und chemischen Parametern wird im 4. Abschnitt näher eingegangen.

Sensorische Beurteilung des Schmelzverhaltens von Raclettekäse			
Fettabscheidung	keine	leicht	stark
Ausflockung	keine	leicht	stark
Skala/Note			
Viskosität	-< dünnflüssig		dickflüssig ->
Konsistenz	-< kurz		normal lang ->
Struktur	-< weich		fest ->
Skala/Note			
(o = kritischer Wert)			

Abb. 1: Beurteilungskriterien und -Skalen für die Schmelzqualität von Raclettekäse (1)  
(o: Grenzwerte für die Gruppeneinteilung gut-ungenügend)

### 3. Instrumentelle Messung des Schmelzverhaltens

Die nachfolgende Zusammenstellung gibt einen Überblick über rheologische und thermoanalytische Methoden die bisher – mit unterschiedlichem Erfolg – zur Charakterisierung der Schmelzbarkeit von Käse eingesetzt wurden.

### 3.1. Flächenausdehnungs- oder Fließfähigkeitstests

In der Literatur werden zahlreiche Schmelzbarkeitstests beschrieben, die auf der Erwärmung zylindrischer Käseproben und ausschließender Messung der Formänderung beruhen. Gut bekannt sind die Tests nach Schreiber (4) und Arnott (5). Vergleichbare andere Tests unterscheiden sich bezüglich Probengeometrie, Aufwärmbedingungen und -vorrichtungen sowie Verfahren zur Messung der Änderung der Probenhöhe oder des -durchmessers nach dem Schmelzen. Einen Überblick über die eng verwandten Methoden gaben Park et. al (6).

Die Flächenausdehnungs- und Fließfähigkeitstests haben den Vorteil, daß sie einfach und rasch durchführbar sind und daß das Ausmaß der Fettabscheidung visuell beurteilt werden kann. Ein großer Nachteil besteht aber in der allgemein schlechten Wiederholbarkeit und der oft ungenügenden Korrelation mit den sensorischen Befunden (1, 3).

### 3.2. Erweichungs- und Tropfpunkttemperatur

Der Erweichungs- oder Tropfpunkt einer Probe entspricht derjenigen Temperatur, bei der während kontinuierlichem Aufwärmen der erste Tropfen aus der Öffnung eines genormten Nippels austritt (7). Abb. 2 zeigt schematisch die Meßanordnung eines kommerziellen Gerätes (Mettler Instrumente AG, CH-8604 Volketswil).

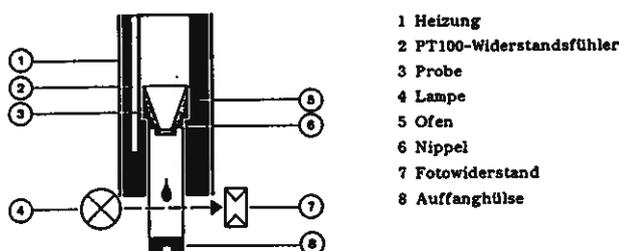


Abb. 2: Meßanordnung für die Bestimmung des Erweichungs- und Tropfpunktes

Die Durchmesser der Nippelöffnungen betragen üblicherweise für den Erweichungspunkt 6,35 und für den Tropfpunkt 2,75 mm. Zur Optimierung des Meßverfahrens wurde auch die Eignung anderer Durchmesser geprüft (8).

Der Tropfpunkt, der die Käse bezüglich ihres Schmelzverhaltens besser klassiert als der Erweichungspunkt, kann nur bei wenigen Sorten ohne Probleme ermittelt werden. Bei vielen Käsen tritt Fett aus, bevor die Tropfpunkttemperatur erreicht wird oder es fällt wegen zu hoher Viskosität überhaupt kein Tropfen ab. Der Erweichungspunkt läßt sich hingegen mit wenigen Ausnahmen (Hartkäse mit sehr tiefem Wassergehalt) zuverlässig messen (8). Abb. 3 zeigt die Bereiche der Erweichungspunkte verschiedener Halbhart- und Hartkäse. Die starke Abhängigkeit vom Wassergehalt ist offensichtlich. Aus dem der Abb. 3 zugrundeliegenden Zahlenmaterial konnte eine nahezu lineare Abhängigkeit des Erweichungspunktes (EP, °C) vom Wassergehalt im fettfreien Käse (WFF, g/kg) festgestellt werden (8):

$$EP = 139,8 - 0,123 \cdot WFF$$

Bei Raclettekäsen wurden hohe Korrelationskoeffi-

zienten für die Beziehungen zwischen den Tropf- und Erweichungspunkten und den sensorischen Parametern „Struktur“ und „Viskosität“ festgestellt. Allerdings konnte nur im Fall von Raclettekäse aus pasteurisierter Milch, allein aufgrund der Tropfpunktmesung, eine einigermaßen zuverlässige Voraussage der Schmelzqualität gemacht werden (1).

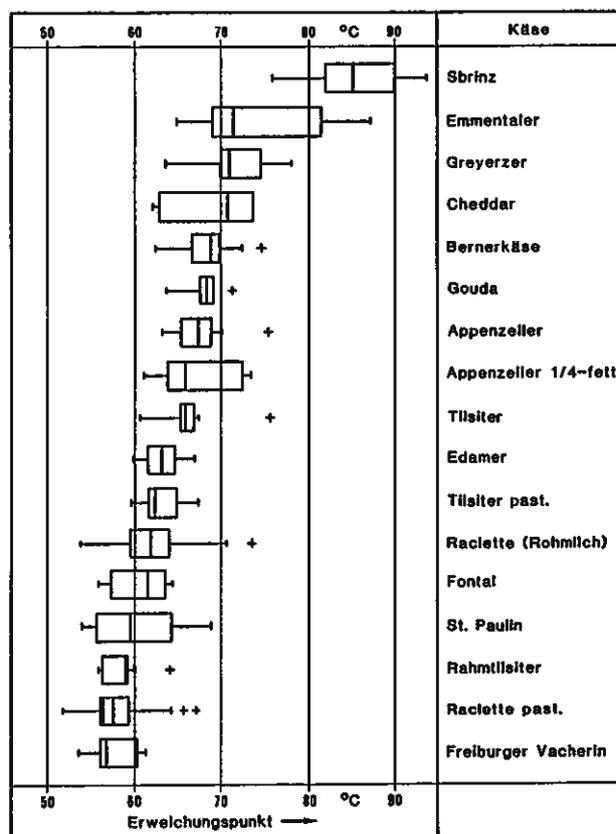


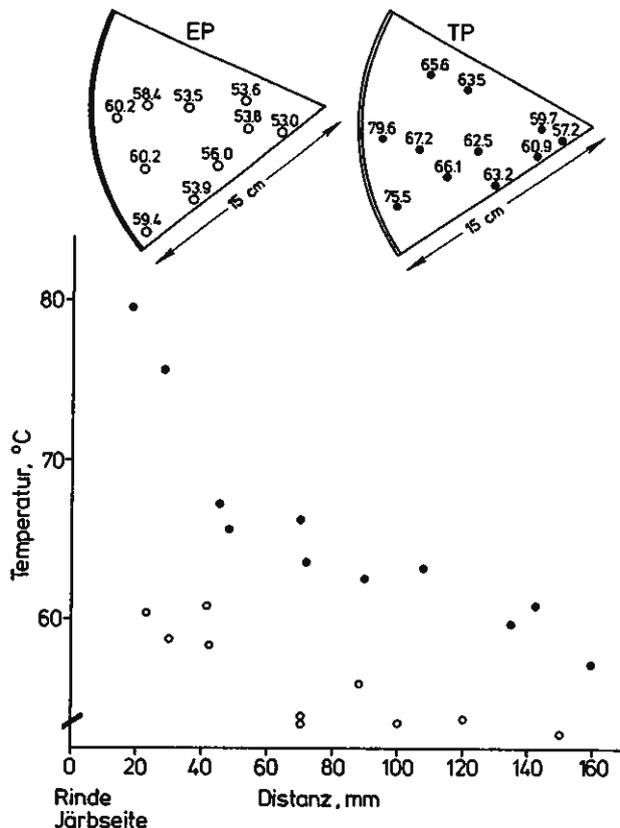
Abb. 3: Erweichungspunkte verschiedener Halbhart- und Hartkäse (8) (Boxplots mit Medianwert, Interquartilsbereich, Extremwerten und „Ausreißern“)

Da für die Messung des Erweichungs- und Tropfpunktes nur kleine Probenmengen benötigt werden, können zonale Untersuchungen innerhalb eines Käselaibes vorgenommen werden (Abb. 4). In einer Untersuchung mit Raclettekäsen wurden der Gehalt an Wasser, wasserlöslichem Stickstoff, NaCl und Ca als signifikante Einflußfaktoren des Erweichungspunktes ermittelt (Tabelle 1). Die Regressionskoeffizienten geben an um wieviel sich der Erweichungspunkt im Mittel verändert, wenn die Gehaltskomponente um eine Einheit erhöht wird.

**Tabelle 1: Signifikante Einflußfaktoren der Erweichungstemperatur von Käse (8)**  
(Signifikante Variablen aus einer multiplen linearen Regression; 165 Proben)

Komponente	Einheit	Regressionskoeffizient
Wasser (WWF) <sup>1)</sup>	g/kg	-0,121
Wasserlöslicher-N	mol/kg	-2,202
NaCl	g/kg	0,204
Ca	g/kg	0,552

<sup>1)</sup> Wasser in fettfreier Käsemasse



**Abb. 4: Zonale Unterschiede der Erweichungs- und Tropfpunkte in Raclettekäse (7)**  
(Horizontalschnitt durch einen Käse von der Järbseite in Richtung Zentrum)

### 3.3. Kompressions-Tests

Aus Kompressionsmessungen, die meistens mit Universalprüfgeräten durchgeführt werden, können Viskositäten und andere rheologische Meßgrößen ermittelt werden. Bisher wurden vorwiegend Schmelzkäse bei ausgewählten Temperaturen und unter isothermen Bedingungen untersucht (9). Da empfohlen wird, die Kontaktfläche zwischen Käseprobe und Kompressionsplatte zu fetten, stört eine geringfügige Fettabscheidung des Käses während der Messung nicht. Die aus dem Viskositätsabfall beim Aufwärmen ermittelte Schmelztemperatur korrelierte bei einigen Käsesorten signifikant mit der im kalten Zustand sensorisch bestimmten Teighärte und einer mit „chewiness“ bezeichneten Teigeigenschaft (10).

### 3.4. Penetrometer

Penetrometer wurden bisher nur zur Härtmessung von ungeschmolzenem Käse verwendet. Beim Raclet-

tekäse besteht ein Zusammenhang zwischen der penetrometrisch gemessenen Teighärte im kalten Zustand und der Schmelzqualität: gut schmelzende Käse waren im kalten Zustand signifikant weicher als schlecht schmelzende Käse (1, 2).

### 3.5. Rotationsviskosimeter und dynamische Messungen

Konventionelle Rotationsviskosimeter eignen sich im allgemeinen nicht zur Bestimmung rheologischer Parameter von geschmolzenem Käse. Die erhaltenen Rheogramme sind vor allem wegen Gleiteffekten in der Meßzelle schlecht reproduzierbar (10).

Auf ähnliche Probleme stößt man bei dynamischen Messungen der viskoelastischen Eigenschaften. Deshalb ist die Interpretation der Temperaturabhängigkeit des dynamischen Verlustwinkels, des Elastizitätsmoduls und anderer Parameter aus dynamischen Messungen schwierig. Messungen der dynamischen Viskoelastizität von Gouda-, Cheddar- und Schmelzkäse zeigten charakteristische temperaturabhängige Unterschiede, die von den Autoren u. a. auf den Reifezustand und beim Schmelzkäse auf veränderte Hydratationsverhältnisse zurückgeführt wurden (11).

### 3.6. Kapillar-Rheometer

Mit einem speziellen Kapillar-Extrusionsviskosimeter gelang es, beim Mozzarella-Käse Fließkurven im Temperaturbereich von 40 bis 70°C zu messen. Der Mozzarella-Käse bildete dabei eine Ausnahme, denn alle übrigen Käsesorten konnten wegen Fettabscheidung und anderen Problemen nicht gemessen werden (12).

### 3.7. Thermoanalyse

Traditionelle thermoanalytische Methoden wie z. B. Differential Scanning Kalorimetrie (DSC) und Differential Thermoanalyse (DTA), eignen sich nicht zur Charakterisierung des Schmelzverhaltens von Käse. Die Thermogramme zeigen oberhalb 0°C endo- und manchmal exotherme Vorgänge, die dem Schmelzen des Milchfettes entsprechen. Über 40°C zeigen die Thermogramme keine meßbaren Abweichungen von der Basislinie (6).

## 4. Wärmephysikalische Eigenschaften von Käse

Die spezifische Wärme ( $c_p$ ) von Käse ist abhängig von der Zusammensetzung und liegt zwischen 1,8 und 3,3 kJ/kg/K (13–16). Näherungsweise kann sie nach folgender empirischen Formel berechnet werden:

$$c_p = 0,0042 \times \text{Wassergehalt} + 0,0021 \times \text{Fettgehalt} + 0,0013 \times \text{fettfreie Trockenmasse},$$

wobei die Gehaltswerte in g/kg anzugeben sind (17). Für den Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten von Käse findet man Werte zwischen 0,3 und 0,4 W/m/K (13–15). Die Temperaturleitfähigkeit von Lebensmitteln ( $a$ , cm<sup>2</sup>/min) ist nach Riedel (18) in erster Näherung linear abhängig vom Wassergehalt:

$$a = 0,053 + (a_{\text{Wasser}} - 0,053) \cdot \text{Wassergehalt}$$

Es ist anzunehmen, daß diese Beziehung auch für Käse angenähert gilt.

Im Rahmen des europäischen COST 90-Projekts stellte eine Arbeitsgruppe verschiedene, aus der Literatur bekannte Gleichungen zur angenäherten Berech-

nung thermophysikalischer Eigenschaften von Lebensmitteln zusammen (19). Diese Arbeitsgruppe entwickelte ebenfalls ein Computerprogramm zur Berechnung der Wärme- und Temperaturleitfähigkeit, der Enthalpie und spezifischen Wärme eines beliebigen Lebensmittels, aufgrund dessen Wasser-, Eiweiß-, Fett-, Kohlehydrat- und Mineralsalzgehaltes. Die erwähnten thermophysikalischen Parameter können für ein breites Temperaturintervall, auch unter 0° C, berechnet werden.

##### 5. Beziehungen zwischen Schmelzeigenschaften und chemischer Zusammensetzung

Der Einfluß verschiedener Käseinhaltstoffe und der Proteolyse auf das Schmelzverhalten wurden vorwiegend bei Cheddar-, Mozzarella- und Raclettekäse untersucht. Eine kleine Literaturübersicht bis 1986 ist in der Arbeit von SCHLUEP und PUHAN (3) enthalten. Der Wassergehalt stellte sich allgemein als dominierender Einflußfaktor heraus (1-3, 8; vgl. auch Abb. 3). Das Ausmaß des Eiweißabbaus wurde ebenfalls als signifikanter Einflußfaktor erkannt. Aus verschiedenen Arbeiten ging die spezielle Rolle des Calciums hervor (1-3, 8, 20). Ein tiefer Ca-Gehalt verbessert die Schmelzeigenschaften von Käse. Das erklärt die Bedeutung des pH-Wertes beim Ausziehen des Käses: durch Säuerung wird Ca in eine lösliche Form überge-

führt und mit der Molke entfernt. Der Fettgehalt spielt ebenfalls eine Rolle; er muß aber in Zusammenhang mit dem Wassergehalt betrachtet werden, da bei hohen Wassergehalten der Fettgehalt weniger kritisch wird.

Tabelle 2 zeigt ein Beispiel der Gehaltsunterschiede zwischen Raclettekäsen mit guter und mit ungenügender Schmelzbarkeit. Die Gruppeneinteilung erfolgte aufgrund einer sensorischen Beurteilung gemäß den Kriterien in Abb. 1. Der Einfluß des Eiweißabbaus geht aus dieser einfachen Gegenüberstellung der mittleren Gehaltswerte nicht hervor. Bei einer multivariaten Analyse des Datenmaterials erschienen jedoch die Gehalte an wasserlöslichem und Nichtprotein-Stickstoff als signifikante Einflußfaktoren (1).

Aus Untersuchungen dieser Art können fabrikationstechnische Maßnahmen zur Verbesserung der Schmelzqualität eines Käses abgeleitet werden.

**Tabelle 2: Vergleich der Zusammensetzung und physikalischen Eigenschaften von Raclettekäsen aus pasteurisierter Milch mit guter und ungenügender Schmelzqualität (1)** (Mittelwerte von 32 bzw. 28 Käsen; Gruppeneinteilung gemäß Abb. 1).

Parameter	Einheit	Schmelzqualität		Differenz
		gut	ungenügend	
Wasser, als WFF <sup>1)</sup>	g/kg	602	588	-14 **
Fett, als FiT <sup>2)</sup>	g/kg	494	478	-16 **
NaCl	g/kg	21,8	24,2	2,4*
Ca	g/kg	6,3	6,6	0,3*
Ca, wasserlöslich	g/kg	4,2	4,2	n. s.
Total-N	mol/kg	2,7	2,7	n. s.
Wasserlöslicher-N	mol/kg	1,2	1,3	n. s.
Nichtprotein-N	mol/kg	0,42	0,41	n. s.
pH		5,59	5,61	n. s.
Erweichungspunkt	°C	64,3	70,3	6,0***
Tropfpunkt	°C	56,4	59,3	2,9***
Teighärte (Penetrometer)	mm	17,5	14,9	-2,6*

<sup>1)</sup> Wasser im fettfreien Käse; <sup>2)</sup> Fett in Trockenmasse  
\*, \*\*, \*\*\* = p < 0,05, < 0,01, < 0,001; n. s. = nicht signifikant

##### Zusammenfassung

Die Bedeutung von Speisen auf der Basis von geschmolzenem Käse oder mit geschmolzenem Käse als Zutat nimmt ständig zu. Damit steigt auch das Bedürfnis zur objektiven Erfassung der Schmelzeigenschaften und zur systematischen Untersuchung der Eignung verschiedener Käseteige für die Zubereitung solcher Speisen.

Die sensorische Beurteilung des Schmelzverhaltens kann nicht vollständig durch eine instrumentelle Messung ersetzt werden. Ein Grund liegt darin, daß damit nur Teilaspekte der Schmelzqualität erfaßt werden. Zudem erschwert die oft auftretende Fettabscheidung die Durchführung rheologischer Messungen. Eine Literaturübersicht zeigt, daß es nicht viele brauchbare Methoden zur Beurteilung der Schmelzbarkeit gibt.

Untersuchungen verschiedener Halbhart- und Hartkäse ergaben, daß das Schmelzverhalten maßgeblich durch den Wasser-, Kalzium-, Kochsalz- und Fettgehalt sowie den Reifegrad bestimmt wird. Durch gezielte Beeinflussung dieser Parameter kann die Schmelzqualität verschiedener Käse innerhalb gewisser Grenzen verbessert werden.

## Literatur

- (1) EBERHARD, P., MOOR, U. und RÜEGG, M.: Zusammensetzung und physikalische Eigenschaften gut und ungenügend schmelzender Raclettekäse. I. Raclettekäse aus pasteurisierter Milch. *Schweiz. Milchw. Forschung* 17, 3-8 (1988).
- (2) EBERHARD, P., MOOR, U. und RÜEGG, M.: Zusammensetzung und physikalische Eigenschaften gut und ungenügend schmelzender Raclettekäse. II. Walliser Raclettekäse. *Schweiz. Milchw. Forschung* 17, 47-52 (1988).
- (3) SCHLUEP, K. und PUHAN, Z.: Charakterisierung der Schmelzbarkeit von Raclettekäse mit definierbaren Parametern. *Schweiz. Milchw. Forschung* 16, 61-67 (1987).
- (4) KOSIKOWSKI, F. V.: *Cheese and Fermented Milk Foods*. 2nd ed., Edwards Brother Inc., Ann Arbor, Michigan (1977).
- (5) ARNOTT, D. R., MORRIS, H. A. and COMBS, W. B.: Effect of certain chemical factors on the melting quality of process cheese. *J. Dairy Sci.* 40, 957-963 (1957).
- (6) PARK, J., ROSENAU, J.-R. and RELEG, M.: Comparison of four procedures of cheese meltability evaluation. *J. Food Sci.* 49, 1158-1162 (1984).
- (7) EBERHARD, P., MOOR, U., RÜEGG, M. und FLÜCKIGER, E.: Objektive Erfassung des Erweichungs- und Tropfpunktes von Raclettekäse. *Schweiz. Milchw. Forschung* 15, 93-96 (1986).
- (8) RÜEGG, M. und MOOR, U.: Erweichungs- und Tropfpunkttemperaturen verschiedener Halbhart- und Hartkäse. *Schweiz. Milchw. Forschung* 17, 69-73 (1988).
- (9) CAMPANELLA, O. H., POPPLEWELL, L. M., ROSENAU, J. R. and PELEG, M.: Elongational viscosity measurements of melting american process cheese. *J. Food Sci.* 52, 1249-1253 (1987).
- (10) LEE, C.-H., IMOTO, E. M. and RHA, C.: Evaluation of cheese texture. *J. Food Sci.* 43, 1249-1253 (1978).
- (11) TANEYA, S., IZUTSU, T. and SONE, T.: Dynamic viscoelasticity of natural cheese and processed cheese. In: *Food Texture and Rheology*, P. Sherman, ed., Academic Press, London (1979).
- (12) SMITH, C. E., ROSENAU, J. R. and PELEG, M.: Evaluation of the flowability of melted Mozzarella cheese by capillary rheometry. *J. Food Sci.* 45, 1142-1145 (1980).
- (13) RHA, C.: Thermal properties of food materials. In: *Theory, Determination and Control of Physical Properties of Food Materials*. C. Rha, ed., D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, S. 311-355 (1975).
- (14) TSCHUBIK, I. A. und MASLOW, A. M.: Wärmephysikalische Konstanten von Lebensmitteln und Halbfabrikaten. VEB Fachbuchverlag Leipzig, S. 107 (1973).
- (15) HARDY, J.: Les propriétés physiques du fromage. In: *Le Fromage*, A. Eck ed., Lavoisier, Paris, S. 320-330 (1984).
- (16) RIEDEL, L.: Temperaturleitfähigkeitsmessungen an wasserreichen Lebensmitteln. *Kältetechnik* 21, 315-316 (1969).
- (17) MILES, C. A., van BEEK, G. and VEERKAMP, C. H.: Calculation of thermophysical properties of foods. In: *Physical Properties of Foods*; R. Jowitt, F. Escher, B. Hallström, H. F. T. Meffert, W. E. L. Spiess and G. Vos, eds., Applied Science Publ., S. 269-312 (1983).
- (18) KELLER, B., OLSON, N. f. and RICHARDSON, T.: Mineral retention and rheological properties of Mozzarella cheese made by direct acidification. *J. Dairy Sci.* 57, 174-180 (1974).