

Standardisierung der Kessimilch mittels Mikrofiltration

Zusammenfassung	3
1. Allgemeine Grundlagen zur Mikrofiltration	4
2. Prinzip und Funktionsweise der FAM-Pilotanlage	5
3. Versuchdesign und Zerlegen der Milchinhaltsstoffe	9
4. Auswirkungen der Teilkonzentration	14
5. Saisonale Einflüsse	20
6. Möglichkeiten technologischer Anpassungen	22
7. Erkenntnisse der Teilkonzentration mit der MF-Methode zusammengefasst	28
8. Ausblick	29
Literaturverzeichnis	30

Titelbild: MF-Pilotanlage an FAM

Erstveröffentlichung

Herausgeber:
FAM
Eidg. Forschungsanstalt für Milchwirtschaft
Liebefeld
CH-3003 Bern
Telefon +41 (0)31 323 84 18
Fax +41 (0)31 323 82 27
<http://www.fam-liebefeld.ch>
e-mail info@fam.admin.ch

Autoren:
Andreas Thomet und Hans-Peter Bachmann

Kontaktadresse für Rückfragen:
Andreas Thomet
e-mail andreas.thomet@fam.admin.ch
Telefon +41 (0)31 323 26 52
Fax +41 (0)31 322 86 16

Gestaltung: Müge Yildirim

Erscheinungsweise:
In unregelmässiger Folge mehrmals jährlich.

Ausgabe:
November 2003, Nr. 462

ISSN 1660-2587
ISBN 3-905667-10-X

Standardisierung der Kessmilch mittels Mikrofiltration

Andreas Thomet und H.-P. Bachmann

Eidgenössische Forschungsanstalt

für Milchwirtschaft (FAM),

Liebefeld

CH-3003 Bern

Seit mehreren Jahren findet die Teilkonzentration mittels Membranverfahren zur Standardisierung der Kessmilch Anwendung in der Praxis. In der Regel sind dazu Ultrafiltrationstechniken im Einsatz. Neue Filtrationsverfahren und verbesserte Filtersysteme eröffnen den Käseherstellern laufend neue Perspektiven. Die FAM hat in einer grösseren Versuchserie die Chancen und Grenzen der Mikrofiltration (MF-Methode) zur Herstellung von Halbhartkäse (Typ Raclette) aus teilkonzentrierter Milch ausgetestet. Was bietet die MF-Methode für Möglichkeiten zur Standardisierung der Kessmilch? Welche Auswirkungen auf die chemische Zusammensetzung sowie auf die Qualitäts-, Reifungs- und Schmelzeigenschaften der Käse hat die neue Technologie?

Die Membrantrenntechnik bildet zur Zeit ein Schwerpunkt an der Forschungsanstalt für Milchwirtschaft in Liebefeld (FAM). Dabei werden nicht Produkte sondern Verfahren und innovative Technologien weiterentwickelt. Daraus ergeben sich für die schweizerische Milchwirtschaft bei der Produktentwicklung neue Perspektiven. Die Membran-Trennverfahren eröffnen auch bei der Käsefabrikation viele neue Möglichkeiten. Die Herstellung von Käse aus ultrafiltrierter Milch ist seit langer Zeit bekannt und in der Praxis umgesetzt (Lawrence 1989, Schreiber et al. 1999). Mittels Mikrofiltration (MF) können Bakterien und Sporen mit hoher Effizienz (Keimreduktion $> \log 4$) aus der Käsereimilch abgetrennt werden. Der Effekt und die geschmackliche Beeinflussung beim Einsatz in der Käsefabrikation wurde von Klantschitsch et al. (1998, 1999 und 2000) und Lehmann et al. (1998) eingehend untersucht. Die MF-Methode (Filterporen um 100 nm) bietet vielversprechende technologische und wirtschaftliche Möglichkeiten (Papadatos, 2003) zur Voll- oder Teilkonzentrierung der Kessmilch - insbesondere zur Herstellung von Weich- und Halbhartkäse.

1. Allgemeine Grundlagen zur Mikrofiltration

Mikrofiltration ist das Verfahren mit den grössten Poren und wird zum Abtrennen von Makromolekülen wie Kaseinmicellen und Mikropartikeln mit über 0,1 µm Durchmesser eingesetzt (Abb.1). Der Stofftransport durch die Membran wird durch den Druckgradienten über der Membran gewährleistet. Der Filtrations-schub erfolgt also über den Transmembrandruck (TMP). Bei der Mikrofiltration

liegt dieser unter 5 bar, bei der Ultrafiltration - wegen der kleineren Porendurchmesser - zwischen 1 und 10 bar. Die Abgrenzungen zwischen Mikrofiltration und Ultrafiltration sind fließend und nur durch Definition festgelegt. Die Ultrafiltration dient generell zur Abtrennung hochmolekularer Stoffe und kann somit zur Anreicherung (Konzentrierung) von Milchproteinen eingesetzt werden.

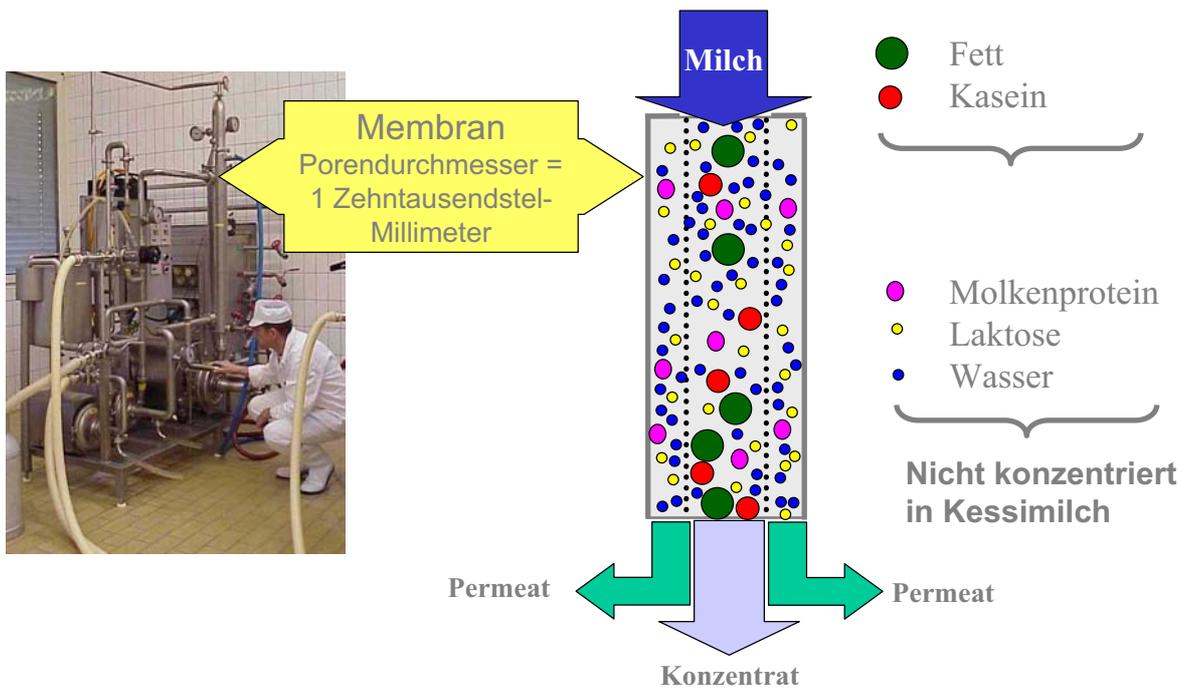
Abb. 1: Einsatzbereich der Membrantrennverfahren

	Elektronisches Mikroskop		Optisches Mikroskop		Von Auge erkennbar	
	Ionenbereich	Molekularbereich	Makromolekularbereich	Mikropartikelbereich	Makropartikelbereich	
Mikrometer (log-Skala)	0.001	0.01	0.1	1.0	10	100
Molekulargewicht (Da)	200	20.000	200.000	2.000.000		
Relative Grösse der typischen Bestandteile	Ionen Salze Laktose	β-Lactoglobulin α-Lactalbumin	Immunoglobuline Kaseinmizellen	Fettkügelchen Hefen, Schimmelpilze Bakterien		
Trennverfahren	Umkehrosiose	Nanofiltration	Ultrafiltration	Mikrofiltration		Herkömmliche Filtration

Das Besondere und im Speziellen für die Käseherstellung interessante an der Mikrofiltration ist, dass im Unterschied zur Ultrafiltration (Filterporen nur 5-80 nm) die nativ in der Milch vorkommenden Molkenproteine nicht aufkonzentriert werden. Dies ermöglicht eine wesentlich kostengünstigere Aufkonzentrierung (mehr Fluxleistung, weniger Filterfläche)

bei gleichzeitiger Abtrennung (Fraktionierung) von Molkenproteinen, welche über den Permeatweg (Abb. 2) wegfließen. Mittels Diafiltration und bei Bedarf kombiniert mit einer gezielten thermischen Vorbehandlung der Rohmilch kann der Molkenproteinanteil aber auch die Laktosekonzentration in der Kessmilch eingestellt werden.

Abb. 2: Prinzip der Proteinfractionierung mit der MF-Methode



2. Prinzip und Funktionsweise der FAM-Pilotanlage

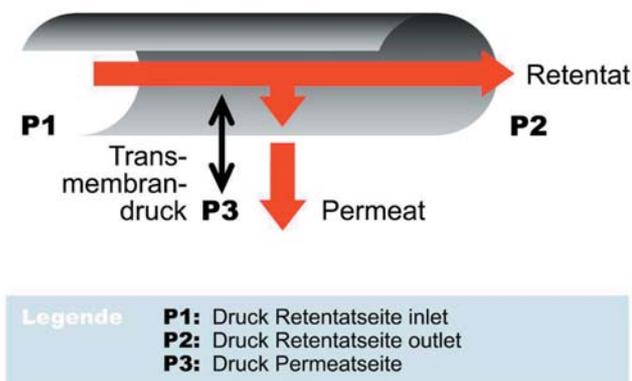
Die FAM-Pilotanlage ist für Konzentrierungs- und Fraktionierungsaufgaben im MF- und UF-Bereich ausgerüstet. Mit einfachen Handgriffen ist es möglich die 7 Filterkerzen mit unterschiedlichen Porengrößen (5.0 μm , 1.4 μm , 0.5 μm , 0.1 μm , 20 kDa und 5 kDa) rasch auszuwechseln.

Es ist eine Anlage vom Typ Alcross M der Firma Tetra Pak und ist mit dem UTP-

System (Abb. 4 und 5) ausgerüstet. Die Filterfläche beträgt total 1.68 m^2 mit einer mittleren Fluxleistung (Thomet und Gallmann, 2003) bei der MF-Fraktionierung (Filter 0.1 μm) von 80-100 lmh .

Nachstehend sind die wichtigsten technischen Funktionsprinzipien zur erfolgreichen Anwendung der MF-Methode bei der Herstellung von Käsen aus teilkonzentrierter Kessimilch erklärt:

Abb. 3: Prinzip der Crossflow-Filtration (Graphik und Legende, FAM)



a) Crossflow-System

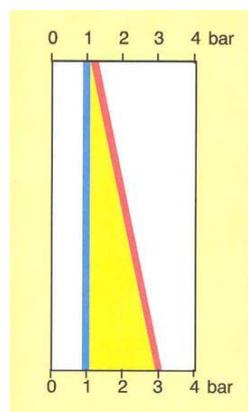
Im Gegensatz zu konventionellen Filtrationsverfahren wird bei Membranverfahren der Lebensmittelverarbeitung die sogenannte Crossflow- oder Tangentialtechnik eingesetzt. Das zu filtrierende Medium wird mit hoher Geschwindigkeit tangential zur Membranoberfläche bewegt. Wie aus Abb. 3 ersichtlich, verläuft der Volumenstrom des Filtrats (Permeat) senkrecht zur Flussrichtung des Mediums. Die treibende Kraft des Prozesses ist der Transmembrandruck. Mit zunehmendem Transmembrandruck steigt auch der Permeatvolumenstrom, in der Fachsprache **Flux** genannt.

b) Gleichmässiger Transmembrandruck (TMP)

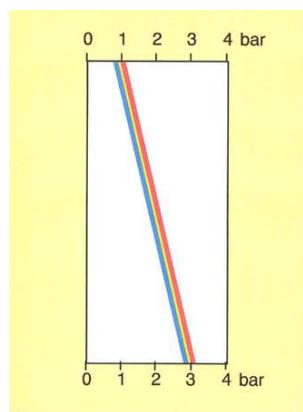
Bei MF-Systemen wird ein möglichst gleichmässiger TMP angestrebt. Tetra Laval patentierte das sogenannte „Uniform transmembran pressure“-System (Abkürzung = UTP). Das UTP-System hat sich einerseits zur Erzielung einer zufriedenstellenden Keimreduktion gut

bewährt und ermöglicht andererseits die gezielte Fraktionierung verschiedener Milchproteine. Den Unterschied zwischen den konventionellen Systemen mit unkontrolliertem TMP und den revolutionären Systemen mit kontrolliertem TMP erklärt Abb. 4.

Abb. 4: Vergleich Druckprofile TMP konventionell mit dem UTP von Tetra Laval



Druckprofil TMP unkontrolliert



Druckprofil TMP kontrolliert (UTP)

Das besondere am UTP-System von Tetra Laval ist die zusätzliche Rezirkulierung des Permeatstromes (Permeatloop), wie

Abbildung 5 zeigt. Dadurch erreicht man eine exakte Einstellung der Druckverhältnisse auf der Permeatseite.

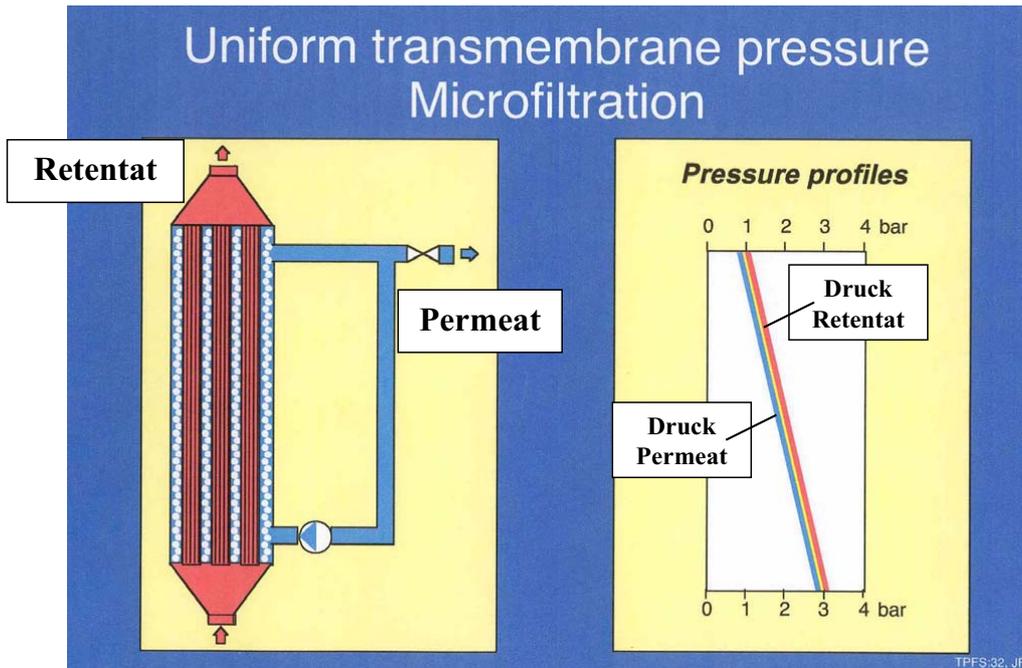


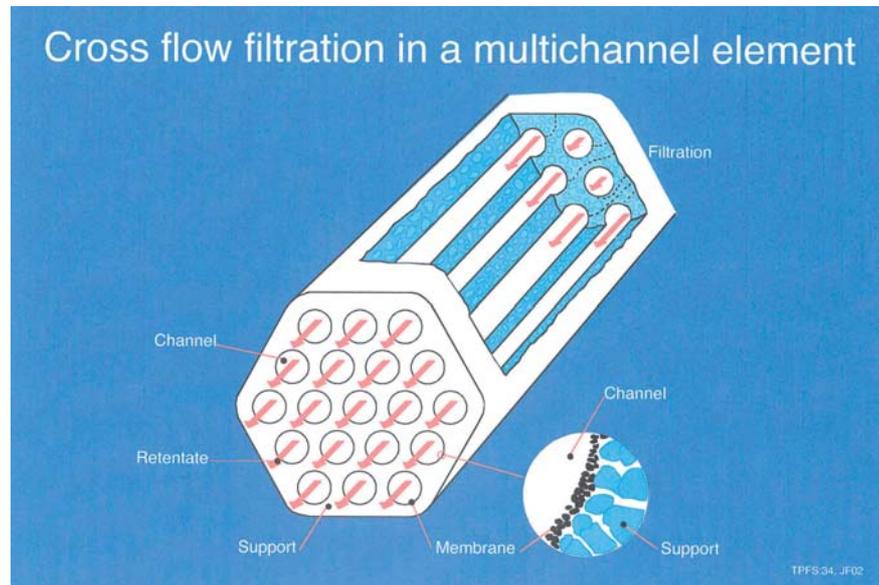
Abb. 5: Retentat- und Permeatfluss beim UTP-System (Tetra Laval)

c) Filtersystem „Multi-channel“ mit Keramikelementen

Die FAM-Filtrationsanlage Alcross M ist mit sogenannten Filterkerzen aus Keramikmaterialien ausgestattet. Keramiksysteme sind vorwiegend für Aufgaben im Bereich der Mikrofiltration (MF) im Einsatz. Es sind anorganische oder mineralische Membranen. Die meisten Keramikmembranen sind aus einer metallischen (Aluminium, Zirkonium, Titanium) und nichtmetallischen Komponente (Oxide, Nitride, Carbide) gefertigt. Die Materialien haben eine hervorragende chemische und thermische Beständig-

keit (voll CIP/SIP-fähig) und werden von organischen Lösungen nicht angegriffen. Gewöhnlich sind Keramikfilter aus einem Multi-channel System mit einem Trägerblock (Beispiel in Abb. 6) konstruiert. Die Keramiksysteme sind im Filterpreis (pro m²) mit sFr. 3'000-4'000 (Thomet und Gallmann, 2003) teuer. Der hohe Preis rechnet sich aber über Vorteile bezüglich Prozessführung (exakte Trennleistung, CIP- und Temperaturbeständigkeit etc.) und der äusserst langen Lebensdauer.

Abb. 6:
Multi-channel
Element Membralox
von SCT, France



d) Möglichkeiten der Proteinfractionierung

Bei der Mikrofiltration spielt die Wahl des Porendurchmessers (Cut-off-Wert) für die Partikelzusammensetzung im Konzentrat (Retentat) und Permeat eine entscheidende Rolle. Mehr und mehr Bedeutung in der Milchwirtschaft gewinnt die Proteinfractionierung mittels einer 0.1 µm MF-Membran. Die gewonnenen Milchfraktionen lassen sich beinahe beliebig einsetzen (Maubois, 2001 und Kulozik et. al., 2001) und zu innovativen Produkten mit guten funktionellen Eigenschaften verarbeiten.

Das Retentat ist ein Kaseinkonzentrat mit geringem Anteil an Molkenproteinen und kann zu den verschiedensten

Produkten weiterverarbeitet werden (Bachmann et. al., 2002a). Die meisten Molkenproteine bleiben im Permeat zurück. Es handelt sich beim Permeat also um eine sogenannte „ideale Molke“. Diese ist mikrobiologisch praktisch steril, pH-stabil und enthält keine Milchsäure, keine Glycomakropeptide (GMP), kein Kupfer, keine Restmengen von Labenzymen und Starterkulturen. Die Proteinfractionen liegen mehrheitlich noch in nativem Zustand vor (Thomet, 2001). Es ist durchaus denkbar, dass sich in der „Molkerei der Zukunft“ die Mikrofiltration zum gängigen Behandlungsschritt der Milch etabliert, wie es bereits die Separation darstellt.

3. Versuchsdesign und Zerlegen der Milchinhaltsstoffe

Im Rahmen des FAM-Projektes „Neue Käsetechnologien“ wurden die Chancen und Grenzen der Mikrofiltration (MF-Methode) zur Herstellung von Halbhartkäse (Typ Raclette) aus teilkonzentrierter Milch ausgelotet:

- Welche Möglichkeiten bietet die MF-Methode den Käseherstellern zur Einstellung (Standardisierung) der chemischen Zusammensetzung der Kessmilch?
- Wie verändert sich die chemische Zusammensetzung der Versuchskäse?
- Welche Auswirkungen hat die MF-Technologie auf die Qualitäts-, Reifungs- und Schmelzeigenschaften der Käse? Wie können allfällige Auswirkungen technologisch korrigiert werden?

a) Festlegung von Versuchsfaktoren und -stufen

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die Wahl und die festgelegten Grössen der Versuchsfaktoren und –stufen. Der Aufbau der Versuchsserie entspricht einem multifaktoriellen Versuchsdesign. Die Proteinstufe 3.2% repräsentiert den durchschnittlichen Proteingehalt der schweizerischen Verkehrsmilch und ist somit wenig bis praktisch „unverändert“. Die Einstellung der Zielwerte erfolgte für sämtliche Proteinstufen (auch Stufe 3.2%) aus einer Mischung von MF-Retentat und –Permeat gemäss den Angaben über den Versuchsablauf im folgenden Abschnitt.

Versuchsserien	Faktoren	Stufen	Gesetzmässigkeit
Serie 1 (IB 18, 2002)	<i>Protein</i>	3.2%, 4%, 5%, 6%	$4^2 = 16$ Käse
	<i>Saison</i>	Winter, Frühling, Sommer, Herbst	
Serie 2 (IB 19, 2002)	<i>Protein</i>	3.2%, 4%, 5%, 6%	$4 * 3 = 12$ Käse
	<i>pH-Wert beim Einlaben</i>	6.6, 6.4, 6.2	
Serie 3 (IB 20, 2003)	<i>Protein</i>	3.2%, 4%, 5%, 6%	$4 * 2 * 3 = 24$ Käse
	<i>Zeit Ausdicken (nach Gerinnung)</i>	4 Min., 12 Min.	
	<i>Permeatzugabe</i>	JA, NEIN	

Tabelle 1:
Übersicht der festgelegten Versuchsfaktoren und -stufen

Legende: IB = Interner Bericht FAM (unveröffentlicht)

Statistische Auswertungen:

Für die Auswertung wurden zwei Modelle mit leicht veränderten Annahmen verwendet.

Die einzelnen Proteinstufen (3.2%, 4%, 5%, 6%) wurden als Kovariablen (Modell ANCOVA) oder als kategoriale Variablen (Modell ANOVA) gesetzt. Die Faktoren Saison (Winter, Frühling, Sommer,

Herbst) und Einfluss pH (6.6, 6.4 und 6.2) wurden in beiden Modellen als kategoriale Variablen definiert.

Das Modell ANCOVA ist sehr gut geeignet, um lineare Abhängigkeiten des Proteingehaltes aufzudecken. Auch stehen für die Fehlerschätzung 11 Freiheitsgrade zur Verfügung, was eine leicht bessere Fehlerabschätzung erlaubt als das Modell ANOVA mit nur 9 Freiheitsgraden.

b) *Versuchsablauf und Fabrikations-
schema*

Für die Versuchskäse (00-33-08) wurden folgende Rohstoffe verwendet:

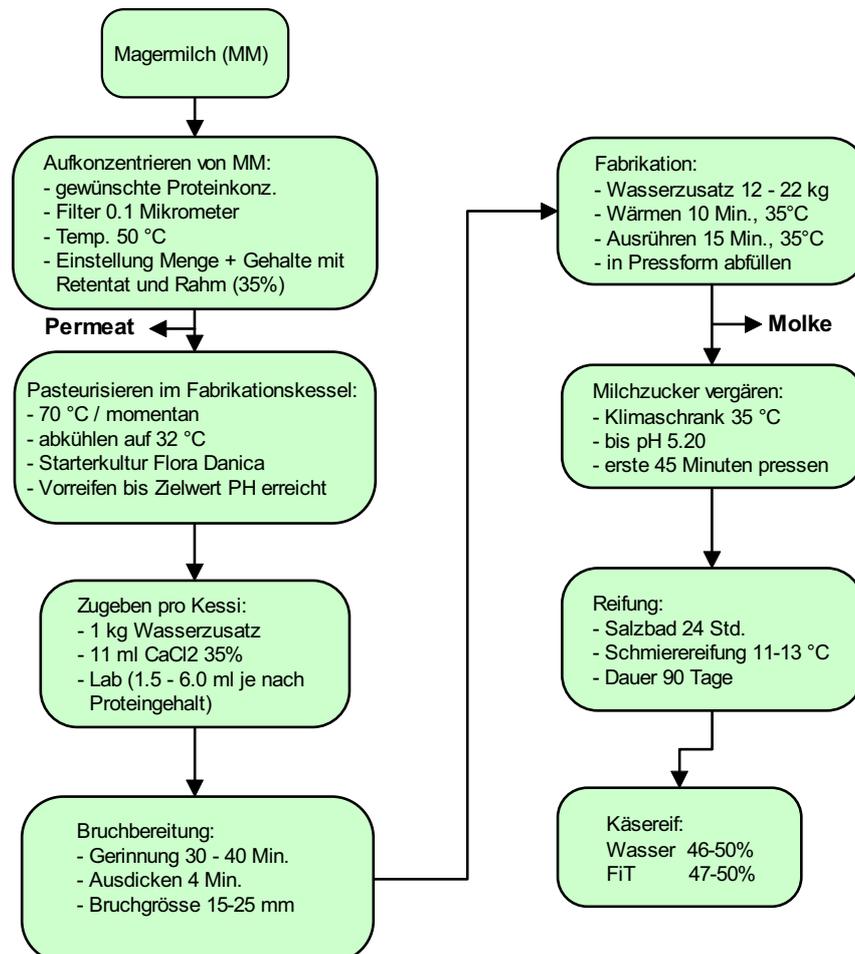
- MF-Konzentrat (Tetra Alcross M, 0.1µm Porengrösse) mit 70.5 g/kg Proteingehalt aus Magermilch (MM)
- MF-Permeat (Tetra Alcross M, 0.1µm Porengrösse) mit 7.5 g/kg Proteingehalt aus Magermilch (MM)
- Rohrahm 350 g/kg Fett
- Starterkulturen Flora Danica
- Labenzym Chr. Hansen Standard Premium 225

Berechnete, abgewogene Mengen an Konzentrat, Permeat und Rahm dienen zur exakten Einstellung der Zielgehalte

(Fett und Protein) im Verhältnis 1:1. Zur Überprüfung der Gehaltseinstellung war das IR-Gerät (Typ Milko Scan 605 von N. Foss Electric) sehr hilfreich. Die Käsefabrikation erfolgte gemäss der praxisüblichen FAM-Rezeptur für Modellraclette (vollfett, pasteurisiert) mit den notwendigen Technologieanpassungen (siehe Abb. 7) zur Verarbeitung von teilkonzentrierter Milch.

Das Retentat nach der Filtrationsanlage ist ein Kaseinkonzentrat mit geringem Anteil an Molkenproteinen. Die meisten Molkenproteine bleiben im Permeat zurück.

Abb. 7:
Fabrikations-
schema Modell-
käse (00-33-08)
vom Typ Raclette
(5-6 kg Laibe) aus
MF-konzentrierter
Milch.



c) Zerlegung der Milchinhaltstoffe durch MF-Prozess

Durch den MF-Prozess (siehe Beispiel Abb. 8) und dem nachgelagerten Verkäsungsprozess (siehe Beispiel Abb. 9) gelingt es wichtige Milchinhaltstoffe

(Fett, Kasein, Molkenproteine, Laktose, Salze) in die gewünschte Richtung zu zerlegen und in die verschiedenen Stoffströme überzuführen.

Beispiel Protein 6% (Frühling 2000):

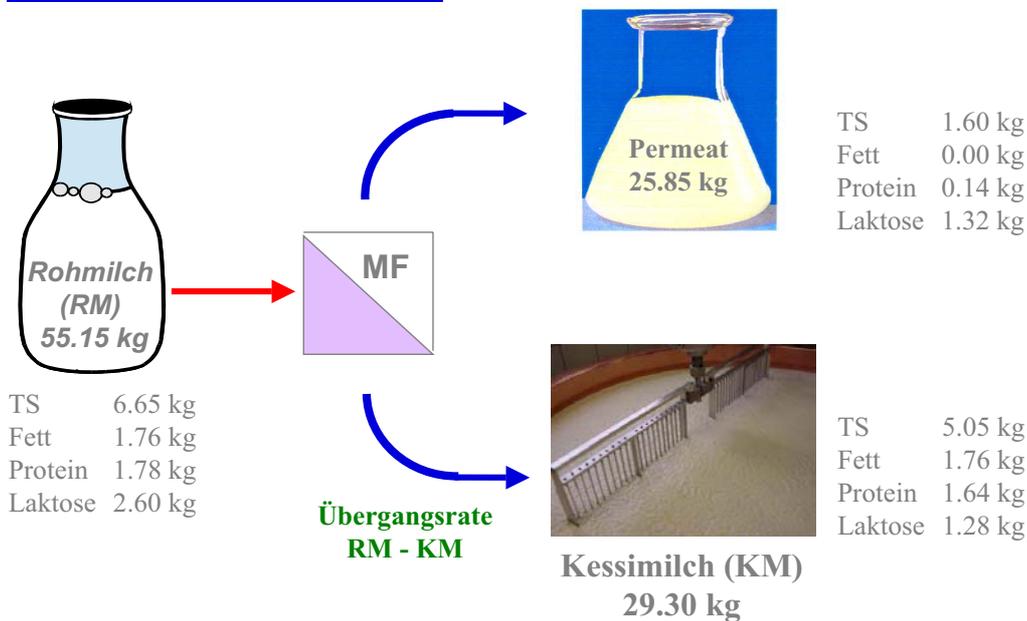


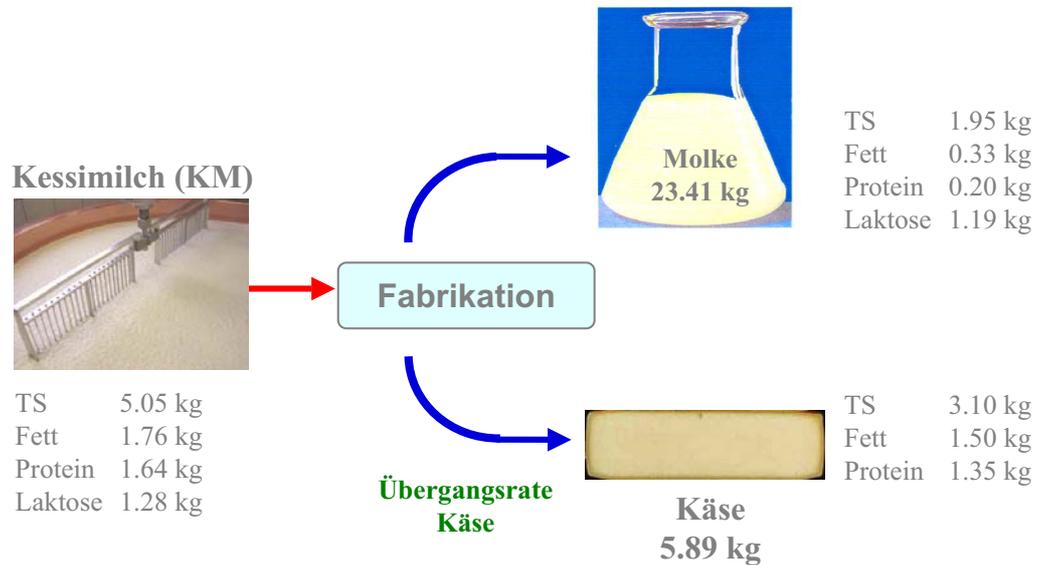
Abb. 8:
Übergangsrate der Milchinhaltstoffe (Versuch 00-33-08) in die teilkonzentrierte Kessimilch

Hauptziel bei den beiden Prozessschritten Mikrofiltration (Abtrennung von Permeat) und Käsefabrikation (Abtrennung von Molke) ist einerseits möglichst wenig wertvolle Anteile an Milchprotein und -fett zu verlieren und andererseits die Laktose auf die im Käse erwünschte Ausgangsmenge zu reduzieren. Zum Vergleich der Zerlegungsvorgänge mittels unterschiedlicher Technologien (konventionelle Käseherstellung, Teil- und

Vollkonzentration MF oder UF) sowie zur Ermittlung der Verluste an Inhaltsstoffen dient die Bestimmung der Übergangsrate von Prozessschritt zu Prozessschritt (Antoniu, 1986). Übergangsrate geben für den Prozessschritt Mikrofiltration (Ausgangsmilch in Kessimilch) oder über den gesamten Prozess (Ausgangsmilch in den Käse) wertvolle Hinweise über die Stoffströme und die Verluste.

Abb. 9:
Transfer der
Milchhaltsstoffe
(Versuch 00-33-08)
in den Käse oder
die Molke

Beispiel Protein 6% (Frühling 2000):



*d) Trennung (Fraktionierung) der Proteine
nach Partikelgrösse*

Mittels mechanischer Trennverfahren, wie es auch die Mikrofiltration darstellt, erfolgt die Stofftrennung aufgrund unterschiedlicher Molekülgrösse der Inhaltsstoffe. Zur Analyse der Grössenunterschiede ist die Molekularmasse in

Dalton (Da) oder Kilodalton (kDa) hilfreich. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht der Milchproteine (Eugster-Meier, 1999) mit Angaben zur Konzentration und Molekularmasse in Kuhmilch.

Tabelle 2:
Konzentration und
Molekularmasse
der Milchproteine

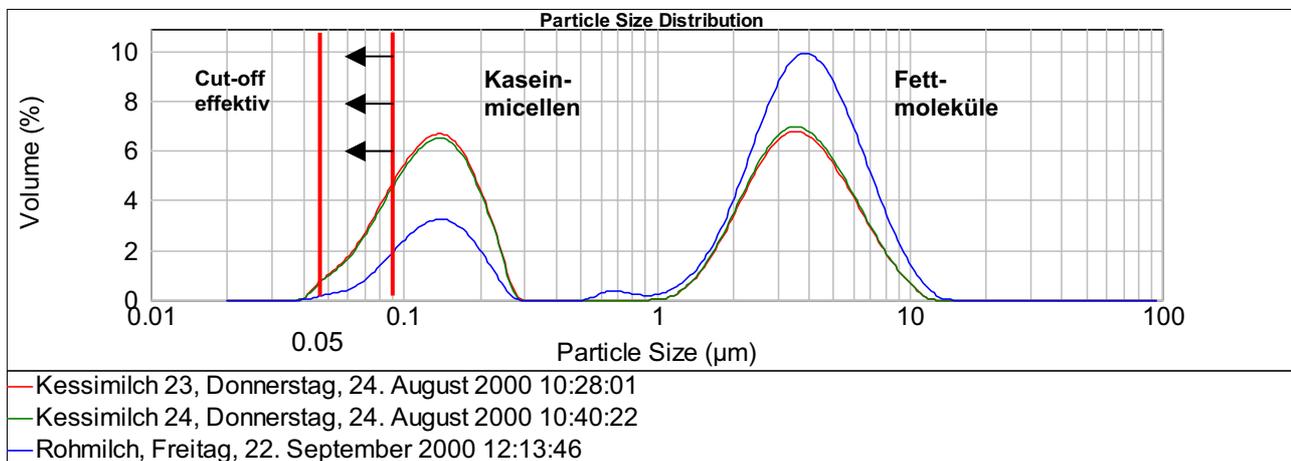
Protein	Konzentration g / L	Molekularmasse kDa
Kaseine:	22-38	
α_{s1} -Kasein	12-15	23.6
α_{s2} -Kasein	3-4	25.2
β -Kasein	9-11	24.2
γ -Kasein	2-4	20.0
κ -Kasein	< 3.7	21.0
Lactalbumine:	4-8	
α -Lactalbumin	1.3	14.0
β -Lactoglobulin	3.5	18.2
Bovine Serumalbumin (BSA)	0.4	69.0
Lactoglobuline:	0.5-1.0	
Lactoferrin	0.1	82-83
Transferrin (von Blut)	0.1	75-77
Euglobulin	0.3	180-252
Pseudoglobulin	0.3	180-289
Immunglobuline:	0.5-1.8	150-500

Die angegebenen Schwankungsbreiten verdeutlichen die unterschiedlichen Proteinkonzentrationen in Einzelmilchen. Faktoren wie Laktationszahl und –stadium der Kühe, Fütterung, Tier- und Eutergesundheit sowie genetische Ursachen beeinflussen die Proteingehalte der Milch. Bei der MF-Behandlung mit einer 0.1 μm -Filtermembran sind im konzentrierten Retentat (Kessmilch) die Kaseine, das BSA sowie die Lacto- und Immunglobuline, nicht aber die übrigen Molkenproteine (α -Lactalbumin, β -Lactoglobulin) aufkonzentriert. Der Fraktionierungsschnitt erfolgt im Molekularbereich zwischen 20-40 kDa. Die Kaseine liegen mehrheitlich in mizellulärer Form in der Milch (Wong, 1996) vor und können somit die MF-Membran nicht mehr passieren. Eine exaktere Angabe zur Trenn-

schärfe ist nicht möglich, da verschiedene Faktoren die Trenneigenschaften von MF-Filtrationsprozessen (Thomet, 2003) beeinflussen.

Im Grössenbereich (Moleküldurchmesser von 0.01 – 10 μm) der Fett- und Proteinmoleküle ist die Partikelgrössenbestimmung ein Messinstrument zur experimentellen Beobachtung der effektiven Trenneigenschaften von Mikrofiltrationsprozessen. In Abb. 10 ist die durch die Deckschichtbildung über der Membranoberfläche bedingte Verschiebung der Trenngrösse (Porengrösse oder Cut-off werden kleiner) eindrücklich erkennbar. Der effektive „Cut-off« der Kaseinmicellen verschiebt sich gemäss Partikelanalyse (Malvern MasterSizer 2000) gegen 0.05 μm .

Abb. 10: Partikelgrössenverteilung in der Kessmilch (Proteinstufe 5%, Sommerserie, Versuch 00-33-08)



Legende:

Kessmilch 23 = Proteinstufe 5%, Fettgehalt 5%

Kessmilch 24 = Proteinstufe 6%, Fettgehalt 6%

Rohmilch (Mischmilch Käserei Uetligen) vom 22.09.2000 in Konzentration und Gehalt unverändert

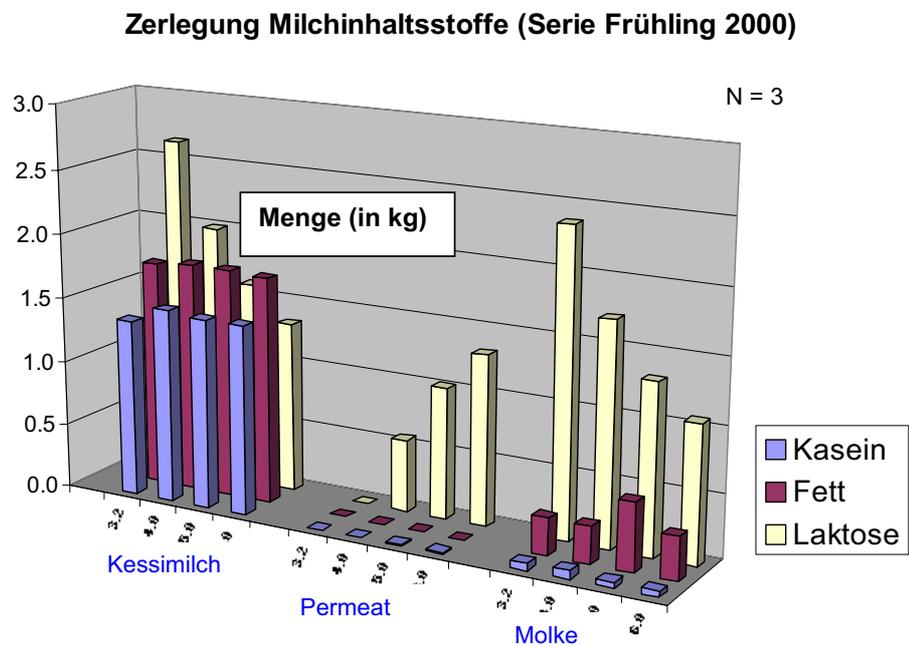
4. Auswirkungen der Teilkonzentration auf unterschiedliche Proteinstufen

a) Vergleich der chemischen Zusammensetzung von Kessimilch, Permeat und Molke

Die angestrebten Fett- bzw. Proteingehalte der Kessimilch sind gemäss Zielwertvorgaben mit einer Abweichung von ± 2 g/kg erreicht worden (Abb. 11). Mit steigender Teilkonzentrierung sinkt hin-

gegen die Laktosemenge in der Kessimilch und der Molke, da mehr und mehr Laktose bereits über den Permeatweg abfließt.

Abb. 11:
Gesamt mengen
(pro Käselai b,
Variante) der
Inhaltstoffe in
Kessimilch,
Permeat und Molke



Die Verluste an Protein und Fett im Permeat (Tabelle 3) sind äusserst gering, was die Effizienz dieses zusätzlichen Verfahrensschrittes beweist. Die Unterschiede der Verluste (Streuung) im Permeat sind von Filtration zu Filtration sehr klein. Wie die Kessimilchmengen nehmen auch die Molkenmengen pro Konzentrationsstufe ab. Deshalb nehmen die Proteinverluste über die Molke mit steigender Proteinstufe ab. Diese Effekte sind sowohl beim Kasein (Abb. 11) als auch beim Molkenprotein (Abb. 12) feststellbar. Wirtschaftliche Vorteile der

Teilkonzentration bedeuten die abnehmenden Kaseinverluste, wie ein einfaches Rechnungsbeispiel aufzeigt: Bei der Teilkonzentration 6% verliert man rund 25 g weniger Kasein (Thomet, 2002a) im Vergleich zur Versuchsvariante 4%. Bei gleichbleibendem Wassergehalt im Käse bedeutet das eine Mehrausbeute von rund 1.3%.

Die Fettverluste in der Molke nehmen mit steigender Konzentration leicht zu. Bei schonender Bruchbearbeitung scheinen die Fettverluste minimal zu sein, wie die

Tabelle 3:
Gesamtmen-
gen (pro Käse-
laib, Va-
riante) und
Verluste an
Inhaltsstoffe im
Permeat (N=4)

Proteinstufe	TS kg	Kasein kg	Fett kg	MP kg	Laktose kg	Asche kg
3.2 %	0	0	0	0	0	0
4.0 %	0.690	0.005	0	0.041	0.560	0.055
5.0 %	1.240	0.010	0	0.074	1.020	0.100
6.0 %	1.600	0.012	0	0.096	1.320	0.129

Legende: TS = Trockensubstanz, MP = Molkenprotein

berechneten Übergangsraten an Fett in den Käse (Abb. 14) beweisen. Mit höherer Proteinstufe nimmt die gesamte Aschemenge (Abb. 12) in der Kessimilch und der Molke ab. Ein beträchtlicher Teil der Asche geht wie

die Laktose in den Permeatstrom über. Anders verhält sich der Calciumgehalt (Ca total): Die Menge an Calcium (Ca) bleibt bei allen Proteinvarianten ziemlich konstant, da mit dem Kasein auch das gebundene Ca mitkonzentriert wird.

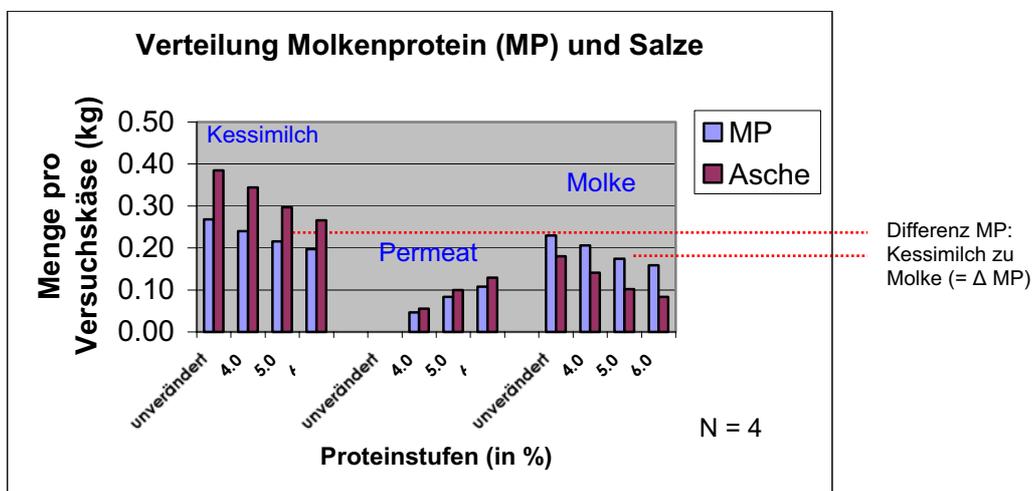


Abb. 12:
Gesamtmen-
gen (pro Käse-
laib, Va-
riante)
Molkenprotein
und Asche in
Kessimilch,
Permeat und Molke

Abb. 12 erlaubt einen interessanten Vergleich zur Molkenproteinmenge (Δ MP): Die Gesamtmenge an Molkenprotein ist in der Kessimilch höher als in der Molke. Das heisst es gehen je nach Versuchsvariante zwischen 34-42 g MP in die Modellkäse über. Die Differenz an Molkenprotein (Δ MP) zwischen Kessimilch und Molke bleibt unabhängig von der Proteinstufe recht konstant.

b) *Chemische Zusammensetzung der reifen Käse*

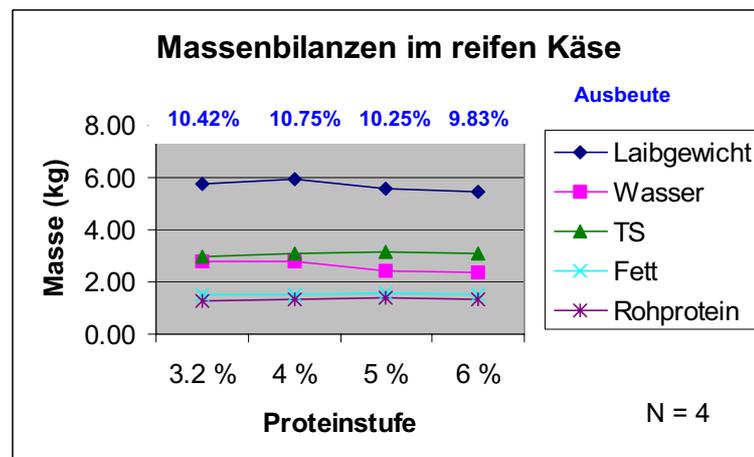
Die Berechnung und Angabe von Massenbilanzen (Käsegewicht reif * Konzentration Inhaltsstoffe) ergibt einen besseren Überblick über die chemische Zusammensetzung im reifen Käse im Vergleich zu Angaben über die Stoffkonzentration, da dadurch der Einfluss von Ausbeute, Wassergehalt und Stofftransfer eindeutig erkennbar wird.

Ausgehend von einer Rohmilchmenge (unfiltriert) von jeweils 55 kg erlaubt die Berechnung der Massenbilanz einen Quervergleich von Ausbeute und der spezifischen Stoffmengen (TS, Wasser, Fett, Rohprotein etc.) über sämtliche Versuchsvarianten. Die Umrechnung der Rohproteinwerte aus den N-Werten

(Methode Kjeldahl) erfolgte mit den einzelnen Faktoren (Schlimme und Buchheim, 1995): Gesamtprotein 6.38, Labmolke 6.41, NPN 3.60.

Der Wassergehalt im Käse sinkt mit steigender Proteinstufe. In dieser Versuchserie liegt das Ausbeutemaximum bei der Proteinstufe 4%. Will man die Ausbeute von MF-Käsen aus teilkonzentrierter Milch hochhalten, so gilt es mit geeigneten technologischen Massnahmen (Kapitel 6) genügend Wasser in die Käse zu bringen. Der Mengenanstieg von Fett- und Rohprotein im Käse bis Proteinstufe 5% zeigt, dass dank der Teilkonzentration der Stofftransfer beim Fabrikationsprozess mit weniger Verlusten abläuft.

Abb. 13: Gesamtmengen der Hauptbestandteile sowie die Ausbeutezahlen im reifem Käse (90 Tage)



c) *Methodenvergleiche mittels Übergangsraten*

Zur Beurteilung von Ausbeute und Inhaltsstofftransfer in den Käse hilft die Berechnung der Übergangsraten (U_x) gemäss folgender Formel (Antoniou, 1988):

$$U_x = (b * x_b) / (a * x_a)$$

wobei

U_x = Übergangsrate des Inhaltsstoffes x in den Käse

b = Käsegewicht (90 Tage) in kg

x_b = Konzentration des Inhaltsstoffes im Käse (g/kg)

a = Menge Milch (Ausgangsmilch, Kessmilch etc.) in kg

x_a = Konzentration des Inhaltsstoffes in der Milch (Ausgangsmilch, Kessmilch etc.)

Eine Übergangsrate ist also der Quotient der Inhaltsstoffmenge im Käse aus der Inhaltsstoffmenge in der Ausgangsmilch oder Kessmilch. Übergangsraten erlauben einen gewissen Vergleich (Stoffströme, Ausbeute, Effizienz) zwischen verschiedenen Käseherstellungsverfahren oder unterschiedlicher Behandlungsmethoden, wie zwischen UF und MF. Zur Analyse der Ausbeute von Käse aus unterschiedlich teilkonzentrierter MF-Milch ist die Berechnung der Übergangsraten (U_x) von Rohprotein und Fett zweckdienlich. Abb. 14 zeigt klare Unterschiede und Trends im Fett- und Proteintransfer von der Kessmilch in den Käse auf.

Mit steigender Teilkonzentrierung geht mehr Protein in die Käsematrix über. Es gibt weniger Proteinverluste (Kasein und Molkenprotein) in die Molke (Thomet, 2002a und 2002b). Anders verhält es

sich beim Fettübergang in den Käse: Die Fettübergangsrate bleibt unabhängig von der Konzentration der Kessmilch recht stabil. Erst ab höherer Konzentrierung der Kessmilch nimmt die Fettübergangsrate zu (Antoniou, 1986 und Kessler, 1996). Ab einer gewissen Proteinkonzentration gibt es mehr Fettverluste bei der Bruchherstellung, daher nimmt die Fett-rate ab Proteinstufe 6% ab. Das ideale Zusammenspiel (Optimum) zwischen der Fett- und Proteinübergangsrate dürfte zwischen der Proteinstufe 5% und 6% liegen, wie die Kurve der „Rate Fett + Protein“ in Abb. 14 zeigt. Das bedeutet der ideale Konzentrationsfaktor (Volumen) von teilkonzentrierter MF-Kessmilch dürfte bei 1.5-1.8 liegen. Mit diesem Konzentrierungsgrad lässt sich das Retentat noch in den bestehenden, konventionellen Käseanlagen verarbeiten.

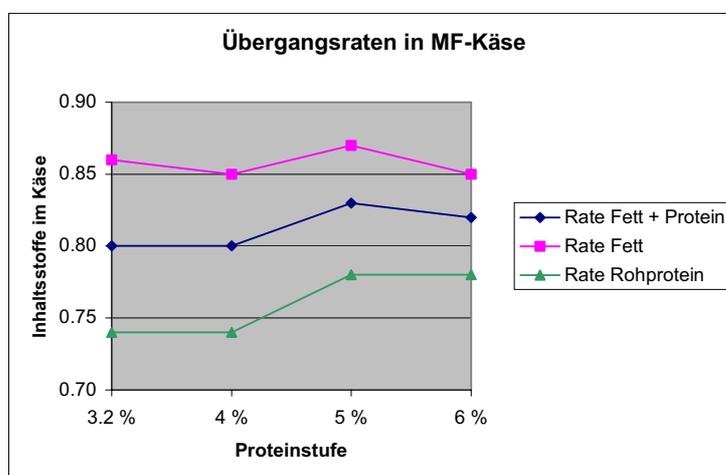


Abb. 14: Fett- und Proteinübergang von der Kessmilch in den MF-Käse (N=4)

d) Calciumverteilung in den Käse

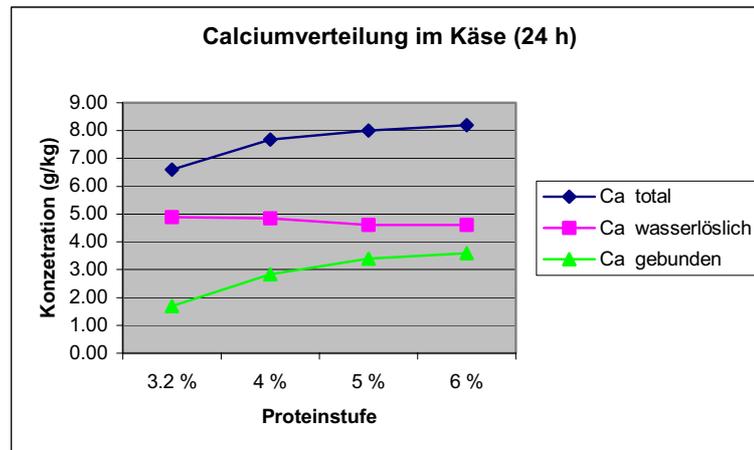
Calcium hat eine wichtige Funktion bei der Labgerinnung und wirkt sich auch auf die Teig- und Schmelzeigenschaften im Käse aus. Abb. 15 zeigt die Konzentrationsentwicklung der verschiedenen Calciumformen (kaseingebunden, löslich, total) im Käse (24 h) abhängig von der Proteinstufe.

Mit der Kaseinkonzentrierung wird auch das kaseingebundene Calcium aufkonzentriert. Die Konzentration an löslichem Calcium im Käse hingegen nimmt mit sinkendem Wasseranteil ab. Trotzdem nimmt der totale Calciumgehalt im Käse stetig zu. Die Auswirkungen auf die Teig- (Richtung fest und „lang“) und

die Schmelzeigenschaften (Richtung zunehmender Viskosität, Konsistenz und Struktur) ist auf Abb. 16 klar ersichtlich. Zur erfolgreichen Korrektur bieten sich

Technologiemassnahmen (siehe Kapitel 6) wie eine leichte pH-Absenkung oder Permeatzugabe in der Kessimilch an.

Abb. 15:
Calciumanalyse im
24-stündigen MF-
Käse (N=4)



e) Verlauf der Milchsäuregärung und der Käsereifung

Mit steigender Konzentration der Kessimilch nimmt die Intensität der Milchsäuregärung leicht ab, wie die pH- und die Milchsäurewerte (Thomet, 2002a) aufzeigen. Durch die höhere Proteindichte im Käse ist das Gärmaterial im Käse stärker gepuffert (FIL-IDF, 1989), auch ist die Wasseraktivität reduziert. Dadurch wird das Wachstum der Starterkultur (Flora Danica) gebremst. Die erhaltenen Werte für die Anfangssäure und die Endsäure sind jedoch zufriedenstellend. Um die Intensität der Milchsäuregärung bei der Fabrikation von Käsen mittels Teilkonzentration zu fördern, könnte man den Wasserzusatz in das Käsebruchgemisch reduzieren. Der Milchzucker (Galaktosebestimmung) ist bei allen Versuchskäsen zufriedenstellend vergoren.

Zur Analyse der Käsereifungsvorgänge sind die Bestimmungen der N-Fractionen (WLN- und NPN-Werte) und der kurz-

kettigen Säuren (C1-C6) aussagekräftig. Sowohl die WLN- als auch die NPN-Werte (Thomet, 2002a) bewegen sich in der normalen Bandbreite von Raclettekäse. Mit höherer Teilkonzentration gab es trotzdem Unterschiede in der Proteolyse, welche vorwiegend durch den Wassergehalt erklärbar sind. Die Proteolyse in die Breite (WLN) wird bei der Aufkonzentrierung viel stärker beeinflusst als die Proteolyse in die Tiefe (NPN). Wie bei zahlreichen früheren FAM-Arbeiten zeigte es sich, dass die Wirkung der Proteinase (Chymosin, Plasmin) viel stärker vom Wassergehalt und dem pH-Wert abhängig ist, als die Wirkung der Peptidasen der Starterkulturen. Die gemessenen Gesamtwerte an flüchtigen Säuren sind bei allen Versuchskäsen im normalen Durchschnitt von Halbhartkäse. Unterschiede sind grösstenteils durch den variierenden Wassergehalt der Käse bedingt.

f) Entwicklung von Qualitäts- und Schmelzeigenschaften

Die unterschiedliche Entwicklung der wichtigsten relevanten Qualitäts- und Schmelzeigenschaften abhängig von den verschiedenen Proteinstufen (3.2%, 4%, 5% und 6%) ist in Abb. 16 zusammengefasst. Sämtliche Versuchskäse erhielten bezüglich Qualitäts- (genügend bis gut) und Schmelzeigenschaften (3.0 – 6.0) ansprechende Beurteilungsnoten.

Die Unterschiede bezüglich Teig- und Schmelzeigenschaften sind gross. Sie sind zu einem grossen Teil vom Faktor Wassergehalt im Käse beeinflusst, der mit zunehmender Konzentrationsstufe signifikant (Abb. 13) abnimmt. Der hohe Wassergehalt der Käse der Proteinstufe 3.2% bewirkte eine schnellere Reifung

dieser Versuchskäse mit den entsprechenden Auswirkungen auf die Teig- (kürzer und weicher) und die Aromaqualität (leicht bitter und sauer, intensiver) nach 90 Tagen. Im Gegensatz dazu präsentierten sich die Käse der Proteinstufe 6% (mit einem tiefen Wassergehalt) dem Panel in einem weniger ausgereiften Stadium mit Teigeigenschaften Richtung lang und fest sowie hohen Werten bei den Schmelzparametern Viskosität, Struktur und Konsistenz. Generell erhielten die Versuchskäse mit steigender Proteinstufe bezüglich Teig- und Aromaqualität sowie Schmelzeigenschaften höhere Noten. Das Qualitätsmerkmal Lochung zeigte beim Faktor Proteinstufe wenig Unterschiede.

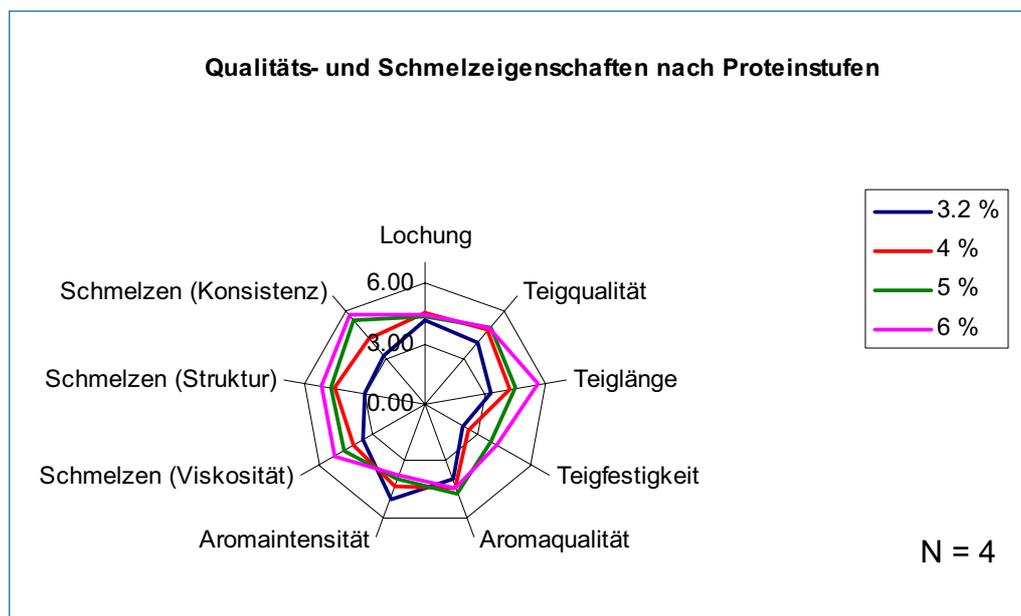


Abb. 16: Vergleich der Resultate aus der Käsebeurteilung (90 Tage) durch FAM-Fachpanel

Legende:

- | | | | |
|--|-------------------|--------------|---------------------|
| ➤ Lochung, Teigqualität, Aromaqualität | 1 = sehr schlecht | 4 = genügend | 6 = sehr gut |
| ➤ Teiglänge | 1 = sehr kurz | 4 = normal | 7 = sehr lang |
| ➤ Teigfestigkeit | 1 = sehr weich | 4 = normal | 7 = sehr fest |
| ➤ Aromaintensität | 1 = sehr fad | 4 = normal | 7 = sehr aromatisch |
| ➤ Schmelzen (Viskosität) | 1 = dünnflüssig | 4 = normal | 7 = dickflüssig |
| ➤ Schmelzen (Struktur) | 1 = kurz | 4 = normal | 7 = lang |
| ➤ Schmelzen (Konsistenz) | 1 = weich | 4 = normal | 7 = fest |

5. Saisonale Einflüsse

Ein wichtiges Ziel bei der Standardisierung von Kessmilch ist der Ausgleich der saisonalen Gehaltsunterschiede in der Ausgangsmilch zur Käsefabrikation. Über das ganze Jahr sollen die Hauptmilchbestandteile (Fett, Protein, Laktose und Salze) der Kessmilch möglichst im gleichen Verhältnis eingestellt sein. Das ergibt Vorteile bezüglich Ausbeute, Portionierung und Gehaltseinstellung der hergestellten Käse. In der Schweiz ist der Fettgehalt im Jahresverlauf in der Regel im Mai-Juni am tiefsten, steigt sukzessive über die Sommer- und Herbstmonate bis Dezember an, um im Verlauf des Winters gegen das Frühjahr wieder zu sinken. Die Proteinkurve hat das Minimum im Juli-August, steigt im Herbst steil auf das Maximum im Oktober an und sinkt nachher stetig bis im März. Im Gegensatz zum Fett- steigt der Proteingehalt in den Monaten Mai und Juni nochmals leicht an.

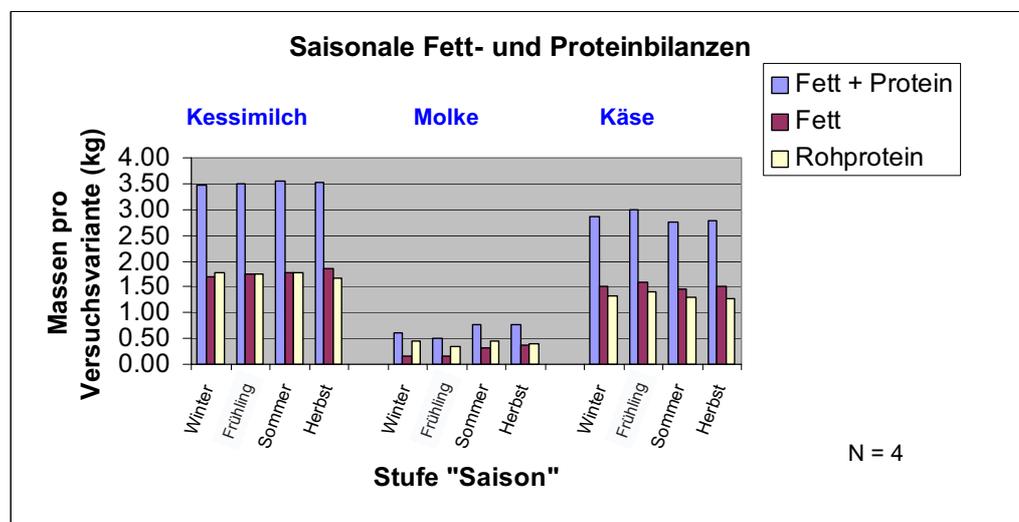
Die MF-Behandlung ermöglicht analog zur Fettstandardisierung (Separator) zusätzlich eine Proteinstandardisierung mit gleichzeitiger Fraktionierung (Aufkonzentrierung der Kaseine) vorzunehmen.

a) Bilanz der Fett- und Proteinmengen in Kessmilch, Molke und Käse

Die exakte Einstellung aller angestrebten Gehaltsmengen (Konzentration und Gesamtmenge von Protein und Fett) in der Kessmilch für alle Versuchvarianten (N = 16) ist schwierig, wie Abb. 17 bestätigt. Die Versuchskäse der Winterserie sind in der Fettmenge ein wenig zu tief, diejenigen der Herbstserie zu hoch, dafür aber in der Proteinmenge leicht zu tief. Mit der Berechnung der Massenbilanzen (Kessmilch, Verluste in Molke, Käse) und der Übergangsraten in den Käse ist es trotzdem möglich den Stofftransfer und die Verluste im Saisonverlauf zu analysieren.

Bei der Analyse der Massenbilanzen ist zu beachten, dass die Anzahl an Versuchskäsen in jeder Saison lediglich N = 4 betrug. Zudem ist die manuelle Bruchbearbeitung mit der einfachen Ausrüstung in den FAM-Pilotanlagen ab Proteinstufe 5% erschwert, was sicherlich von Serie zu Serie zu unterschiedlichen Fett- und Proteinverlusten führte. Verbindliche Aussagen über den

Abb. 17: Darstellung der chemischen Zusammensetzung von Kessmilch, Molke und Käse je nach Saison



Bemerkung: Die Fett- und Proteinverluste der Molke sind rechnerisch ermittelt (Gehaltsmenge Kessmilch – Gehaltsmenge Molke)

b) Käsureifung und Qualitätsausfall über die Saison

saisonalen Stofftransfer und die Fett- und Proteinverluste sind deshalb nur bedingt zulässig. Die Verluste an Fett und Protein in die Molke waren bei der Versuchsserie im Frühjahr am geringsten. Im Sommer und Herbst resultierten markant höhere Fettverluste. Die Proteinverluste sind zu 75-80% Molkenproteine, der Verlust an Kasein (Käsestaub) ist gering.

Die Teilkonzentrierung eröffnet Möglichkeiten, um saisonale Schwankungen im Gehalt und bei der Käseausbeute zu steuern, abzufedern und auszugleichen.

Die Qualitätsnoten (inkl. Teig- und Aromaeigenschaften) zeigen interessante Gesetzmässigkeiten gemäss Abb. 18: Es gibt eine Reihenfolge Winter → Frühling → Herbst → Sommer in Richtung höhere Qualitätsnoten, weicherer und längerer Teig sowie intensiveres Aroma. Die Erklärung liegt bei einer unterschiedlichen Zusammensetzung des Milchfettes (Sollberger, Schaeren und Stoll, 2001) von der Dürrfutter- zur Grünfutterperiode.

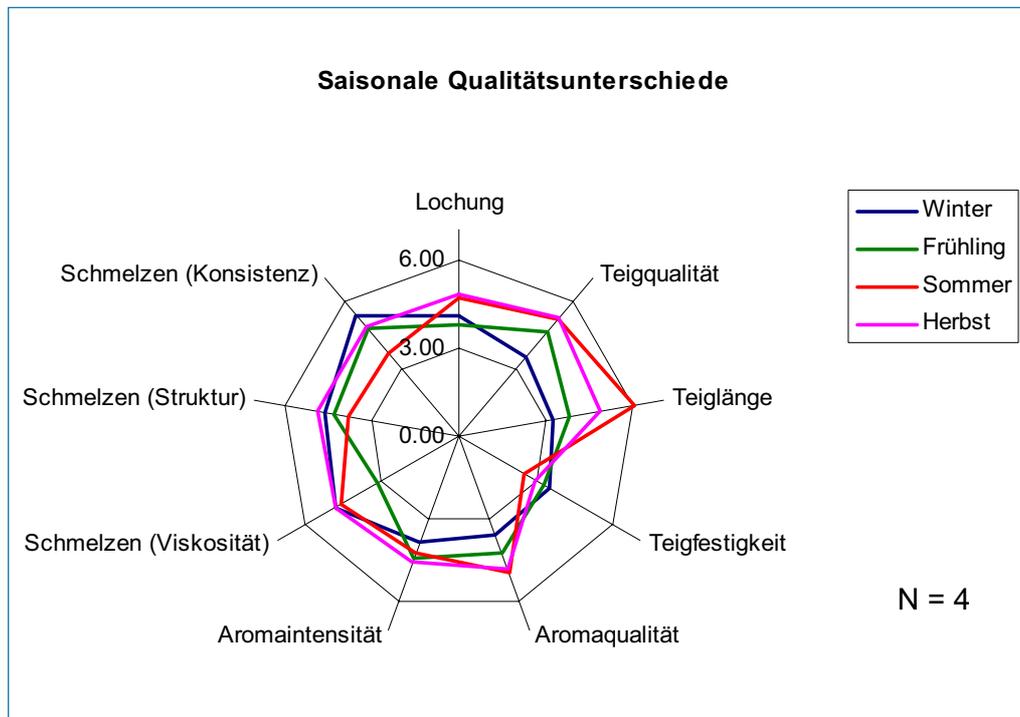


Abb. 18: Beurteilung der saisonalen Qualitäts- und Schmelzeigenschaften durch Fachpanel FAM

Legende:

- | | | | |
|--|-------------------|--------------|---------------------|
| ➤ Lochung, Teigqualität, Aromaqualität | 1 = sehr schlecht | 4 = genügend | 6 = sehr gut |
| ➤ Teiglänge | 1 = sehr kurz | 4 = normal | 7 = sehr lang |
| ➤ Teigfestigkeit | 1 = sehr weich | 4 = normal | 7 = sehr fest |
| ➤ Aromaintensität | 1 = sehr fad | 4 = normal | 7 = sehr aromatisch |
| ➤ Schmelzen (Viskosität) | 1 = dünnflüssig | 4 = normal | 7 = dickflüssig |
| ➤ Schmelzen (Struktur) | 1 = kurz | 4 = normal | 7 = lang |
| ➤ Schmelzen (Konsistenz) | 1 = weich | 4 = normal | 7 = fest |

6. Möglichkeiten technologischer Anpassungen

Mittels verschiedener technologischer Anpassungen (Tabelle 4) wurde versucht der Einfluss einer höheren Konzentration

der Kessmilch auf die Zusammensetzung und die sensorischen Eigenschaften zu korrigieren.

Tabelle 4:
Technologieanpassungen und deren Ziele zur Teilkonzentrierung mit der MF-Methode

Technologiemassnahme	Hauptziel	Erwünschte Nebeneffekt(e)
Tieferer pH-Wert beim Einlaben	<i>Beeinflussung Teigeigenschaften</i>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Verbesserung Schmelzeigenschaften ➤ Calciumverteilung im Käse ➤ Erhöhung Wassergehalt
verlängertes Ausdicken¹⁾	<i>Erhöhung Wassergehalt</i>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ausbeutesteigerung ➤ Beeinflussung Teigeigenschaften
Permeatzugabe (MP konzentriert)	<i>Einarbeitung denaturierte Molkenproteine (MP)</i>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Erhöhung Wassergehalt ➤ Verbesserung Schmelzeigenschaften ➤ Beeinflussung Teigeigenschaften ➤ Verwertung von Nebenprodukten

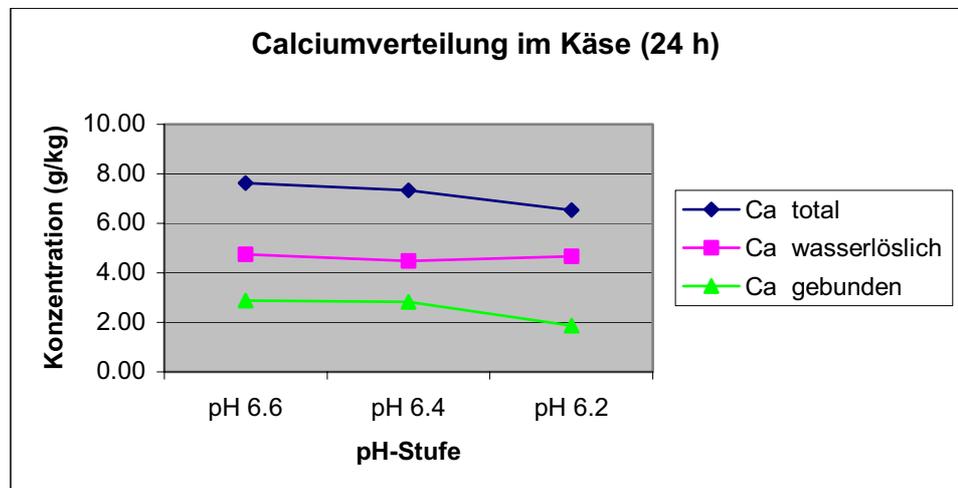
¹⁾ Zeit von Beginn Gelbildung (GT) bis Start Bruchschneiden (RT) gemäss Definition IDF (FIL-IDF, 1988)

a) pH-Veränderung in der Kessmilch mittels Vorreifung mit Starterkulturen

Durch die Proteinkonzentrierung sinkt der Wassergehalt im reifen Käse, die Teig- und Schmelzeigenschaften neigen Richtung lang und fest sowie im geschmolzenen Zustand Richtung dickflüssig. Bei einer Senkung des pH-Wertes (6.4 bzw. 6.2) in der Kessmilch verschiebt sich

das Calciumgleichgewicht im Käse: Die Konzentration des gebundenen Calciums nimmt deutlich ($p \leq 0.01$, siehe Abb. 19) ab, was die Schmelzeigenschaften positiv (kürzer, weicher, dünnflüssiger) beeinflusst.

Abb. 19:
Calciumanalyse im 24-stündigen MF-Käse (N=4) nach pH-Stufe beim Einlaben



Die pH-Senkung kann mittels Starterkultur und längerem Vorreifen der Fabrikationsmilch (siehe Versuchsdesign, Abb. 7) oder technisch durch exaktes Zudosieren von Kohlensäure (oder CO₂) vorgenommen werden.

Die pH-Absenkung zeigt im Trend (Ancova) einen signifikanten ($p \leq 0.05$) Anstieg (Abb. 20) im Wassergehalt. Die Fett- und

Proteinübergangsraten nehmen ganz leicht zu. Mit sinkendem pH-Wert von der Kessimilch ist eine klare Ausbeutesteigerung erkennbar.

Die wichtigsten Auswirkungen der pH-Veränderung auf die Käseeigenschaften (Thomet, 2003a) sind in Tabelle 5 unter der Rubrik „pH-Senkung“ zusammengefasst.

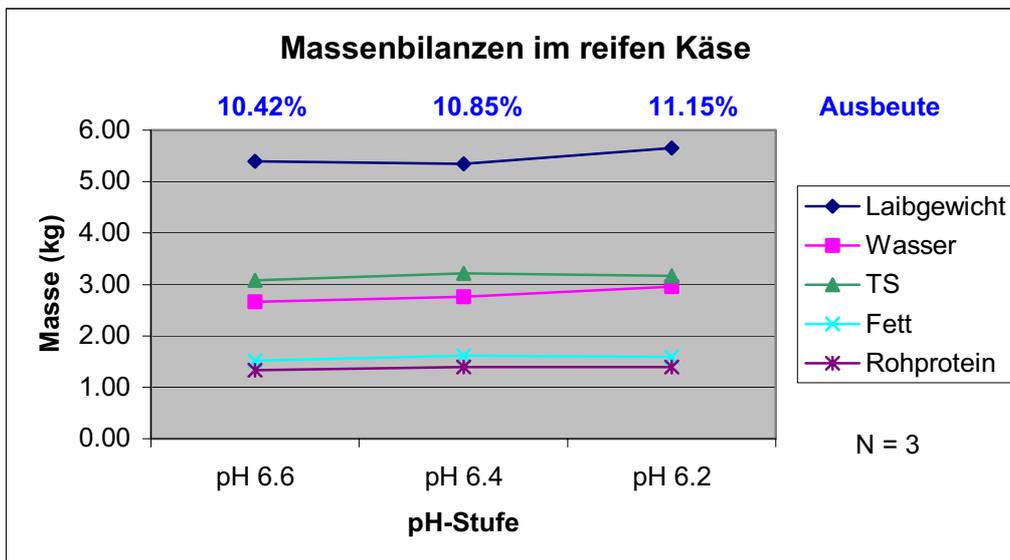


Abb. 20: Ausbeuteentwicklung und Stofftransfer in den Käse durch pH-Senkung

b) Veränderung des Faktors „Zeit Ausdicken“

Die Verlängerung der Ausdickungszeit (Beginn Gelbildung bis Beginn Bruchschneiden) bezweckt in erster Linie eine Steigerung des Wassergehaltes im reifen Käse. Die Verlängerung der Ausdickungszeit von 4 Min. (Standard bei allen Serien) auf 12 Min („Frühlingsserie“) hat

eine deutliche Wirkung auf den Wassergehalt (Abb. 21) der reifen Käse. Am effektivsten ist diese Technologiemassnahme bei den Proteinstufen 4% und 5%. Die durch die MF-Konzentrierung bedingte Reduktion des Wassergehaltes lässt sich dadurch nahezu kompensieren.

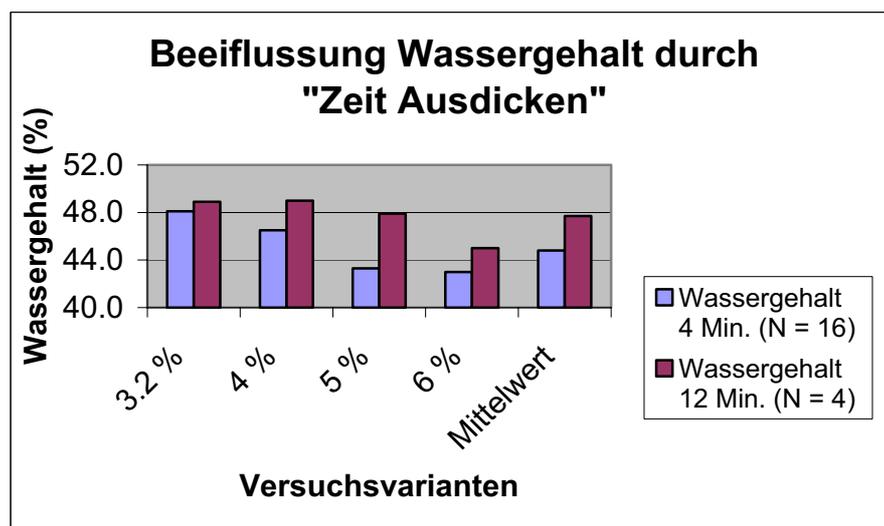
Anhand aller Resultate aus der Qualitätsbeurteilung im reifen Käse nach 90 Tagen lässt sich folgende Faustregel herauslesen:

Mit steigender Proteinstufe kann die Ausdickungszeit von 4 Min. (Standard gemäss FAM-Rezeptur) stets ein wenig verlängert werden, ohne gravierende Einbussen in der Qualität zu riskieren. Die maximale Zeit zum Ausdicken ist für jede Fabrikationsstufe einzeln zu ermitteln. Zur maximalen Verlängerung der Ausdickungszeit sind infolge negativer

Einflüsse auf die Käsequalität Grenzen gesetzt: Der Anwender kann vom idealen Zeitpunkt für den Beginn der Bruchbearbeitung nicht beliebig abweichen, auch ist der maximale Wassergehalt im reifen Käse je nach Proteinstufe limitiert.

Die wichtigsten Auswirkungen der Ausdickungszeit auf die chemische Zusammensetzung der Käse, die Käsereifung und die Schmelzeigenschaften (Thomet, 2003a) sind in Tabelle 5 unter der Rubrik „Zeit Ausdicken“ zusammengefasst.

Abb. 21:
Wassergehalt der Proteinstufen und Mittelwerte beim Faktor „Zeit Ausdicken“



c) Zugabe von Permeat mit denaturierten Molkenproteinen in die Kessmilch

Eine Zugabe von Permeat (unterschiedlicher Konzentration) in die Kessmilch kann aus verschiedenen Gründen erwünscht sein:

- Erhöhung des Wassergehaltes im Käse

- Verbesserung der Schmelzeigenschaften
- Beeinflussung der Teigeigenschaften
- Verwertung von Nebenprodukten aus anderen MF-Prozessen

Mittels einer thermischen Vorbehandlung (90°C, 3 Min.) sollen die Molkenproteine im Permeat denaturiert werden. Die Bildung von Aggregaten vergrössert die Molkenproteinmoleküle und diese lassen sich ab einer Partikelgrösse von 0.3-0.5 µm in die Kaseinmatrix (Steffl, 1999)

einbauen. In diesem ersten Tastversuch wurde bewusst auf eine UF- oder RO-Konzentrierung der Permeatbestandteile verzichtet. 20 kg entspricht der maximal möglichen Zusatzmenge an Permeat (Ersatz für das Fabrikationswasser) in die Kessimilch.

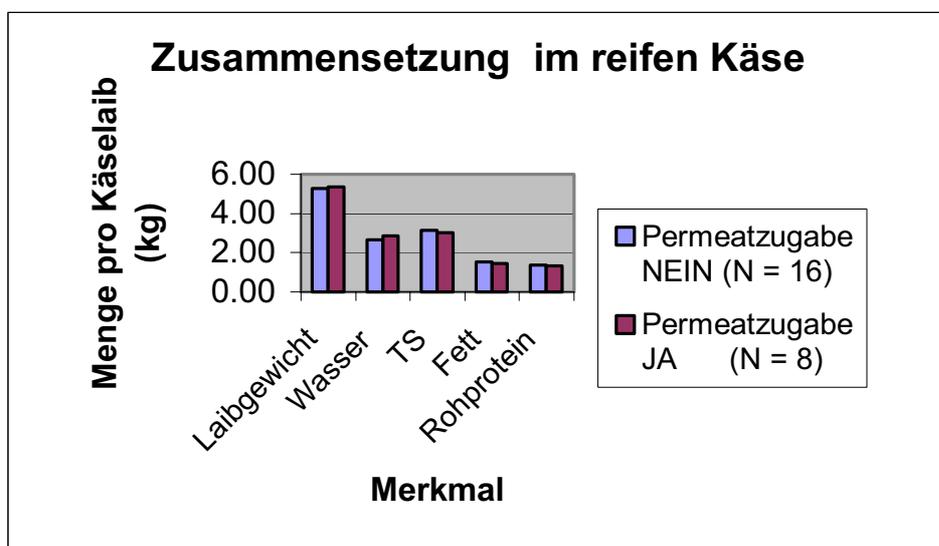


Abb. 22: Vergleich der Zusammensetzung von Käse (90 Tage) mit oder ohne Permeatzugabe (20 kg)

Die chemische Zusammensetzung der reifen Käse (Abb. 22) mit Permeatzugabe variiert nicht signifikant zu derjenigen ohne Permeatzugabe. Der Wassergehalt ist leicht erhöht, der Fettgehalt etwas tiefer. Die mittlere Käseausbeute (10.62%) ist vergleichbar mit derjenigen ohne Permeatzugabe (10.56%).

Die Zunahme des Wassergehaltes ist auf den erfolgreichen Einbau von Molkenprotein in die Käsematrix zurückzuführen. Wie Abb. 23 aufzeigt, transferiert der grössere Anteil an Molkenproteinen, welcher der Kessimilch mit dem Permeat

zudosiert wurde, nicht als Verlust in die Molke sondern in den Käse.

Die „Permeatzugabe“ bewirkte eine verstärkte Proteolyse in die „Breite“ (% WLN von TN) und eine erhöhte Bildung von flüchtigen Säuren während der Reifung. Die Unterschiede in der Käsereifung sind hauptsächlich durch den höheren Wassergehalt im reifen Käse erklärbar.

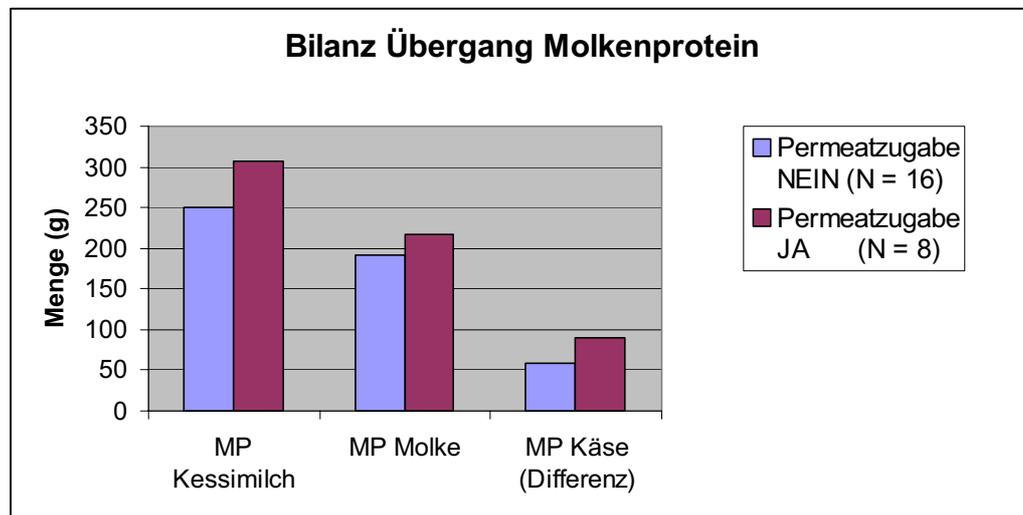
Die Beurteilung der reifen Käse durch das FAM-Fachpanel ergaben leicht (aber nicht signifikant) tiefere Noten in den Qualitätsmerkmalen Lochung, Teig und

Aroma. Die Teigeigenschaften wurden leicht weicher und kürzer beurteilt. Sehr wirksam ist die Permeatzugabe zur Beeinflussung der Schmelzeigenschaften mit signifikant tieferen Werten bei den Parametern Viskosität ($p \leq 0.01$) sowie Struktur und Konsistenz ($p \leq 0.001$). Der höhere Anteil im Wasser- aber auch Molkenproteingehalt und vermutlich auch die veränderte Zusammensetzung der

Milchsalze dürften die Gründe dieser Schmelzunterschiede sein.

Die wichtigsten Auswirkungen des Faktors Permeatzugabe auf die chemische Zusammensetzung der Käse, die Käse- reifung und die Schmelzeigenschaften (Thomet, 2003a) sind in Tabelle 5 unter der Rubrik „Permeatzugabe“ zusammen- gefasst.

Abb. 23:
Vergleich des Mol-
kenproteintransfers
von Käsen mit oder
ohne Permeatzu-
gabe (20 kg)



d) Zusammenstellung der wichtigsten Auswirkungen und Effekte der Technologiemaßnahmen

Aus jeder Änderung und Anpassung von Rezeptur und Technologie im Fabrikationsprozess resultieren unterschiedliche Auswirkungen auf die Käseeigenschaften. Tabelle 5 vermittelt eine Gesamtübersicht über die Auswirkungen (Effekte, Impact) auf die Eigenschaften der Ver-

suchskäse, hervorgerufen durch die vorgenommenen Änderungen und Anpassungen (Versuchsfaktoren pH-Senkung, Zeit Ausdicken und Permeatzugabe) in der Technologie gegenüber der Standardrezeptur FAM.

Tabelle 5: Übersicht der Effekte und deren Wirkung (Impact) von ausgewählten Technologiemassnahmen

Parameter	pH-Senkung 6.2 und 6.4		Zeit Ausdicken 12 Min. statt 4 Min.		Permeatzugabe MP denaturiert, Menge 20 kg	
	Effekt	Impact	Effekt	Impact	Effekt	Impact
Milchsäuregärung:						
Anfangssäure	Wachstum <i>Streptoc.</i>	neutral	Wachstum <i>Streptoc.</i>	-	Wachstum <i>Streptoc.</i>	neutral
Gesamtmilchsäure	Wachstum <i>Lactobac.</i>	neutral	Wachstum <i>Lactobac.</i>	+	Wachstum <i>Lactobac.</i>	+
Restmilchzucker (Galaktose)	Vollständige Laktosevergärung gegen pH 6.2	--	Laktosevergärung	neutral	Laktosevergärung	neutral
Chem. Zusammensetzung Käse:						
Wassermenge total	Steigende Tendenz gegen pH 6.2	+	Zunahme	++	Zunahme	+
Proteinübergang	Übergangsrate	+	Übergangsrate	+	Übergangsrate	neutral
Fettübergang	Übergangsrate	neutral	Übergangsrate	neutral	Übergangsrate	--
Molkenproteine in Käsematrix	Einarbeitung MP	neutral	Einarbeitung MP	neutral	Einarbeitung MP	+
Calciumgleichgewicht	Anteil gebundenes Ca sinkt ab pH < 6.4	-	Anteil gebundenes Ca	neutral	Anteil gebundenes Ca	neutral
Entwicklung Ausbeute:						
Einfluss Wassergehalt	Steigende Tendenz gegen pH 6.2	+	Zunahme Wassermenge	++	Zunahme Wassermenge	+
Einfluss TS-Bestandteile	TS-Zunahme pH < 6.6	+	TS-Zunahme	+	Fettübergang	--
Käsereifung:						
Proteolyse in „Breite“ (WLN- Anteil)	Verlangsamung	-	Bei Permeatzugabe	++	Beschleunigung	++
Proteolyse in „Tiefe“ (NPN- Anteil)	Verlangsamung	--	Verlauf unverändert	neutral	Verlauf unverändert	neutral
Flüchtige Säuren (total)	Konzentrationsgradient: pH 6.2 → 6.6 → 6.4	-	Zunahme	++	Zunahme	+
Flüchtige Säuren (C1-C3)	C3: Steigende Tendenz gegen pH 6.2	+	C2 + C3: Konzentrationszunahme	++	C3: Konzentrationszunahme	++
Flüchtige Säuren (C4-C6)	Konzentrationsgradient: pH 6.2 → 6.6 → 6.4	-	Iso-C4 + Iso-C6: Konzentrationszunahme	++	Alle Iso-Säuren: Konzentrationszunahme	++
Qualitätseigenschaften:						
Summe Qualitätsnoten	Sinkende Tendenz gegen pH 6.2	-	Qualitätseinbusse	-	Qualitätseinbusse	neutral
Lochung	Tendenz blind, klein	-	Fehlerhafte Lochung	--	Fehlerhafte Lochung	neutral
Teig	Kürzerer Teig pH < 6.6	-	Kürzerer Teig	--	Kürzerer Teig	-
Aroma	Intensität, Fehl aroma	neutral	Fehl aroma, sauer	--	Intensität, Fehl aroma	neutral
Schmelzeigenschaften:						
Erweichungs(EP)- und Tropfpunkt (TP)	Differenz EP zu TP bei pH < 6.4	--	TP erniedrigt	-	TP erniedrigt	-
Viskosität	Dünnflüssiger pH < 6.4	--	Dünnflüssiger	-	Dünnflüssiger	--
Struktur	Kürzer pH < 6.6	-	Kürzer	neutral	Kürzer	--
Konsistenz	Weicher pH < 6.4	--	Weicher	-	Weicher	--

Legende:

- ++ deutliche Zunahme oder markant positiver Effekt
- + leichte Zunahme oder leicht positiver Effekt
- neutral keine Veränderung, kein Effekt
- leichte Abnahme oder leicht negativer Effekt
- deutliche Abnahme oder markant negativer Effekt

7. Erkenntnisse der Teilkonzentration mit der MF-Methode zusammengefasst

Die Mikrofiltration - insbesondere, wenn man mit der UTP-Technik arbeitet - eignet sich vorzüglich zur Teilkonzentrierung der Kessmilch. Mit der neuen Technologie konnten qualitativ einwandfreie Raclettekäse hergestellt werden. Die Teilkonzentrierung bietet einige wirtschaftliche (Thomet und Gallmann, 2003, Papadatos, 2003) und technologische Vorteile (Thomet 2002a und 2002b) und eröffnet neue Möglichkeiten zur Beeinflussung der chemischen Zusammensetzung der Kessmilch und der Käseeigenschaften. Die Standardisierung kombiniert mit einer Teilkonzentration der Kessmilch mit MF-Technologie hat im Vergleich zu konventioneller Käseherstellung einige Nachteile (Investitionen in Filtrationsanlagen, Entwicklungsaufwand und Technologieanpassungen, Anpassung Bruchbearbeitung, suchen von Lösungen für Permeatverwertung) aber auch Vorteile (Thomet, 2002a und 2002b) mit verschiedenen Zielrichtungen:

a) wirtschaftlicher Art

- Bei einem Protein- und Fettgehalt von 5 - 6% kann mit den gleichen Anlagen 50-80% mehr Milch zu Käse verarbeitet werden. Die totalen Investitionskosten für technische Anlagen sinken.
- Die Kosten für Lab und Starterkulturen sinken.
- Die Ausbeute ist 3 – 5% höher, dank geringeren Kaseinverlusten über die Molke und grösseren Proteinübergangsraten.

b) technologischer Art

- Das Mengenverhältnis der Hauptbestandteile Protein, Fett und Laktose lässt sich mit Hilfe der MF-Technologie (Filter 0.1 μm) ziemlich genau einstellen.
- Ein Ausgleich der saisonalen Unterschiede bei der Milch (Gehalt, Zusammensetzung) ist mit der Standardisierung der Kessmilch möglich.
- Die Einstellung der gewünschten Gehaltswerte (Wasser, Protein, Fett) im Käse ist in Kombination mit geeigneten Technologiemassnahmen (Zeit Ausdicken, Einarbeitung Molkenproteine, pH-Einstellung) besser möglich.

c) sensorischer Art

- Die Teigeigenschaften sind besser und gezielter beeinfluss- und steuerbar.
- Geschmacksrichtungen wie bitter, sauer, salzig sind weniger ausgeprägt.
- Die Schmelzeigenschaften sind gezielt steuerbar, abhängig vom Wassergehalt, vom pH-Wert und vom Grad der Teilkonzentrierung.

Für die Käsehersteller stellt sich die Frage, ob die wirtschaftlichen Vorteile den Aufwand für Neuinvestitionen und Technologieentwicklungen kompensieren. Für den einzelnen Verarbeitungsbetrieb sehen die wirtschaftlichen Überlegungen wiederum etwas anders aus. Ausbeuterwartungen und Qualität der Käse aus teilkonzentrierter Milch sind vielversprechend. Zudem entsteht als Koppelprodukt je nach Konzentrierungsgrad eine beträchtliche Menge an „idealer Molke“ mit besserem Wertschöpfungspotenzial.

8. Ausblick

Im Zuge der Umstrukturierung der Verarbeitungsbetriebe in der Käsepraxis und dem steigenden wirtschaftlichen Druck zu Kosteneinsparungen überlegen sich die Betriebsverantwortlichen intensiv die Chancen und Möglichkeiten zur Teilkonzentrierung der Kessmilch auszuloten. Die wirtschaftlichen Vorteile (Papadatos, 2001) liegen auf der Hand: Besserer Käseausbeute dank geringeren Kaseinverlusten und besseren Proteinübergangswerten (Thomet, 2002a), Ausgleich der saisonalen Unterschiede im Proteingehalt, bessere Auslastung bestehender Anlagen zur Käseherstellung (Thomet und Gallmann, 2003), deutliche Kostensenkung für Labstoffe und Starterkulturen. Zudem ist das anfallende Permeat („lactoserum idéale“, Maubois, 2001) ein wertvolles Nebenprodukt. Zur Standardisierung (Protein und Laktose) der Kessmilch sind in der Praxis vier verschiedene Verfahrensmethoden bekannt:

- Zusatz von speziellen Milch- oder Kaseinpulvern
- Teilkonzentrierung mittels Eindampftechnik
- Teilkonzentrierung mittels UF- oder seltener NF-Verfahren
- Teilkonzentrierung mittels MF-Verfahren

Jede der vier Methoden hat Vorteile und Grenzen bezüglich Einstellung der chemischen Zusammensetzung der Kessmilch, Einfluss auf die Qualitäts- und Schmelzeigenschaften der hergestellten Käse und der wirtschaftlichen Konsequenzen. Die Ergebnisse aus den umfassenden Versuchen an der FAM mit der neuen MF-Methode zeigen vielversprechende Erkenntnisse zur positiven Beeinflussung der technologischen und wirtschaftlichen Parameter am Beispiel Raclettekäse. Die gewonnenen Erfahrungen

aus den Arbeiten mit der MF-Methode geben den Käseherstellern wertvolle Inputs zur Umsetzung und Anwendung dieser Technologie in die Praxis. In einer weiteren Forschungsarbeit zum Thema Standardisierung der Kessmilch mit MF-Technologie (Versuchserie 4, Thomet, 2003b) wurden die Auswirkungen einer gezielten thermischen Vorbehandlung der Milch vor der MF-Filtration untersucht. Gelingt es mit diesem Verfahren vermehrt Molkenproteine in die Käsematrix einzuarbeiten sowie die positiven Einflüsse auf die Käsequalität und Ausbeute weiter zu steigern, dürfte die neue MF-Methode zur Teilkonzentrierung der Praxis ein zusätzliches Argument für deren Einsatz geben.

Literaturverzeichnis

Antoniou K.:

Untersuchungen zum Einsatz der Ultrafiltration bei der Herstellung von Schnittkäse. Justus-Leibig-Universität Giessen, Verlag B. Renner, Giessen (1986)

Bachmann H.-P., Schafroth K.:

Innovative Verfahren für die Herstellung von Käse. Agrarforschung 9, 452-453 (2002)

FIL-IDF:

Curd setting during cheesemaking – Influence of milk concentration by UF on enzymic coagulation. Bulletin of the International Dairy Federation Nr. 225, ISSN 0250-5118 (1988)

FIL-IDF:

The use of ultrafiltration technology in cheesemaking. Bulletin of the International Dairy Federation Nr. 240, ISSN 0250-5118 (1989)

Eugster-Meier E.:

Funktionelle Eigenschaften der Milchproteine, FAM-Information, Nr. 368 (1999)

Kessler H.:

Lebensmittel- und Bioverfahrenstechnik, Molkereitechnologie, TU München-Weihenstephan. Verlag A. Kessler, Freising. 4. Auflage (1996)

Klantschitsch T., Puhan Z., Bachmann, H.P.:

Wirtschaftlichkeit der Mikrofiltration für die Herstellung von Käse aus Silomilch. Lebensmittel Technologie 31, 354-358 (1998)

Klantschitsch T., Puhan Z., Bachmann H.P.:

Eine Erfolg versprechende Technologie für die Herstellung von Käse aus Silomilch. Schweizerische Milchzeitung 125, 7 (1999)

Klantschitsch T.:

Influence of microfiltration on the quality of semi-hard cheese from raw milk with particular emphasis on Clostridium tyrobutyricum spores. Diss. ETH Zürich 13233, 1-114 (1999)

Klantschitsch T., Bachmann H.P., Puhan Z.:

Influence of milk treatment and ripening conditions on quality of Raclette cheese. Le Lait 80, 51-67 (2000)

Kulozik U., Spiegel T., Huss M., Strohmaier, W.:

Funktional properties of micro-particulated whey proteins in product applications. Proceeding of the 3rd International Whey Conference, Behr's Verlag (2001)

Maubois J.-L.:

Milk microfiltrate, a convenient starting material for fractionation of whey proteins and derivatives. Proceeding of the 3rd International Whey Conference, Behr's Verlag (2001)

Lehmann O., Klantschitsch T., Puhan Z.:

Ausbeute von Rohmilchkäse, Käse aus mikrofiltrierter Milch. Agrarforschung 5, 489-491 (1998)

Lawrence R.C.:

The use of ultrafiltration technology in cheese making. Bulletin of the International Dairy Federation 240, 1-15 (1989)

Papadatos A.:

Economic Feasibility Evaluation of Microfiltration of Milk Prior to cheesemaking. Journal of Dairy Science 86, 1564-1577 (2003)

Schlimme E., Buchheim W.:

Milch und ihre Inhaltsstoffe, dmz (Deutsche Molkereizeitung), Gelsenkirchen (1995)

Schreiber R., Perlik B., Kessler H.G.:
Einsatz der Membrantrenntechnik in der modernen Käseertechnologie - Einflussgrößen auf die Gelbildung von UF-Retentaten. Deutsche Milchwirtschaft 48, 804-807 (1999)

Steffl A.:
Weichkäse mit partikulierten Molkenproteinen. dmz (Deutsche Molkereizeitung), 182-187 (1999)

Sollberger H, Schaeren W., Stoll W.:
Sind Rapssamen in der Dürrfütterungsperiode die Lösung für einen weicherer Käseteig?. dmz (Deutsche Molkereizeitung) 12, S. 488-495 (2001)

Thomet A.:
Molke und Milchserum, Rohstoffe mit Potenzial. Schweizerische Milchzeitung 127 Nr. 47 (2001)

Thomet A.:
Standardisation der Kessmilch mit MF-Technologie (Teilkonzentration, saisonale Einflüsse, Serie 1). Interner Bericht FAM Nr. 18 (2002a)

Thomet A.:
Standardisation der Kessmilch mit MF-Technologie (Teilkonzentration, pH-Veränderung, Serie 2). Interner Bericht FAM Nr. 19 (2002b)

Thomet A., Gallmann P.U.:
Neue Milchprodukte dank Membrantechnik. FAM-Information, Nr. 453 (2003)

Thomet A.:
Standardisation der Kessmilch mit MF-Technologie (Teilkonzentration, Zeit Ausdicken, Permeatzugabe, Serie 3). Interner Bericht FAM Nr. 20 (2003a)

Thomet A.:
Standardisation der Kessmilch mit MF-Technologie (Teilkonzentration, Thermische Vorbehandlung der Milch, Serie 4). Interner Bericht FAM Nr. 21 (2003b)

Wong D.W.S.:
Structures and Functionalities of Milk Proteins. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 36(8), 807-844 (1996)