

Lebensmittelsicherheit von Käse: Verfahren zur Behandlung der Käsereimilch

Ernst Jakob und Elisabeth Eugster

Agroscope, Institut für Lebensmittelwissenschaften ILM, 3003 Bern, Schweiz

Auskünfte: Ernst Jakob, E-Mail: ernst.jakob@agroscope.admin.ch



Milchseparatoren in einer Käserei (Foto: Jakob, Ernst)

Einleitung

Verschiedene traditionelle Schweizer Käsesorten werden ganz oder teilweise aus Rohmilch hergestellt. Bei einigen Käsesorten mit geschützter Ursprungsbezeichnung (GUB) wird dies durch die GUB-Pflichtenhefte vorgeschrieben. Rohmilch ist per Definition eine Milch, die

nicht auf eine Temperatur von über 40°C erwärmt wurde und auch keinem anderen Verfahren mit ähnlicher Wirkung unterzogen wurde (Verordnung über Lebensmittel tierischer Herkunft VLtH). Bei der Herstellung von Käse aus Rohmilch und/oder thermisierter Milch ist der Lebensmittelbetrieb, unabhängig davon wie die Milch vorbehandelt wird, gesetzlich verpflichtet, ein HACCP System zu etablieren, das die Lebensmittelsicherheit der Produkte jederzeit gewährleistet.

Eine Leitlinie für die gute Verfahrenspraxis gemäss Art. 52 der Lebensmittel- und Gebrauchsgegenstände-Verordnung entbindet den einzelnen Lebensmittelbetrieb davon, selber ein HACCP-System zu erarbeiten. In der Milchwirtschaft bestehen zwei Leitlinien: das QM Fromarte sowie die Leitlinie für die gute Verfahrenspraxis bei der Milchgewinnung und -verarbeitung in Sömmerungsbetrieben des Schweizerischen Alpwirtschaftlichen Verbandes (SAV-Leitlinie). Sie berücksichtigen sowohl die schweizerische als auch die europäische Gesetzgebung (Verordnung (EG) Nr. 852/2004, Verordnung (EG) Nr. 2073/2005) und wurden vom BAG bewilligt¹. Eine Leitlinie muss auf den Grundsätzen des HACCP-Konzeptes beruhen und an die betrieblichen Besonderheiten angepasst werden, was gerade für gewerbliche Lebensmittelbetriebe eine Herausforderung ist.

Das Mikrobiom der Rohmilch

Die Rohmilch stellt aufgrund ihrer Zusammensetzung die ideale Umgebung für das Wachstum einer ganzen Reihe verschiedener Mikroorganismen dar. Die Gesamtheit aller in der Rohmilch vorhandenen Mikroorganismen wird als «Rohmilch-Mikrobiom» bezeichnet. Es stellt eine sehr komplexe Gemeinschaft dar, deren spezifische Zusammensetzung einen direkten Einfluss auf die Verarbeitbarkeit der Rohmilch zu Milchprodukten sowie auf deren Qualität und Sicherheit ausübt (Mayo

¹ <https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/lebensmittel-und-ernaehrung/rechts-und-vollzugsgrundlagen/hilfsmittel-und-vollzugsgrundlagen/leitlinien-gute-verfahrenspraxis.html>

et al. 2014, Quigley et al. 2013b). In kürzlich durchgeführten Studien konnten bis zu 256 verschiedene Spezies in Rohmilch identifiziert werden (Masoud et al. 2012, Quigley et al. 2013a). Darunter gibt es eine Reihe unerwarteter Gattungen und Spezies, die vorher nicht in Rohmilch beschrieben wurden.

Milchsäurebakterien (MSB: Gattungen *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Streptococcus*, *Enterococcus*) sowie kommensale Staphylokokken dominieren im Mikrobiom frisch gemolkener Rohmilch. Hinzu kommen weitere Mikroorganismen (*Propionibacterium* spp., *Corynebacterium* spp., *Arthrobacter* spp., *Brevibacterium* spp., *Carnobacterium* spp., *Bifidobacterium* spp. und Hefen), die wie die MSB in bestimmten Phasen der Käseherstellung und -reifung wachstumsfähig sind und durch die Vergärung von Milchzucker, Citrat und Milchsäure sowie durch Proteolyse und Lipolyse massgeblich zu typischen Qualitätsmerkmalen von Käse wie beispielsweise dem Aroma, dem Geschmack und der Textur beitragen. Aufgrund ihrer technologischen und ernährungsphysiologischen Funktion sind diese Mikroorganismen in Rohmilch erwünscht.

Es gibt aber auch eine Reihe unerwünschter Mikroorganismen in Rohmilch, welche die Qualität und die Sicherheit von Käse beeinträchtigen können. Dazu zählen insbesondere Sporen von *Clostridium tyrobutyricum*, welche die gefürchteten Buttersäuregärungen im Käse verursachen (Bergère et al. 1969). Gramnegative Bakterien (Pseudomonaden, Enterobakterien etc.) spielen bei guter Melkhygiene eine untergeordnete Rolle, können aber nach Kühlagerung der Milch dominieren (Scott 1998). Viele dieser Keime bilden Lipasen und Proteasen, die zu Aromafehlern im konsumreifen Käse führen (Jakob et al. 2010). Die mikrobielle Biodiversität unter den gramnegativen Bakterien ist hoch, und es wurden zahlreiche Spezies identifiziert: *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp., *Enterobacter* spp., *Alcaligenes* spp., *Proteus* spp., *Citrobacter* spp., *Psychrobacter* spp., *Halomonas* spp., *Serratia* spp., *Hafnia* spp. (Quigley et al. 2013a).

Enterokokken, im besonderen *E. faecalis* und *E. faecium*, gehören zur Gruppe der MSB und werden in vielen genussfertigen Lebensmitteln gefunden (Dalla Torre et al. 1993; Baumgartner et al. 2001, McAuley et al. 2015). Aufgrund ihrer Eigenschaften werden sie in der Literatur sehr kontrovers betrachtet. Einzelne Stämme werden als Starterkulturen oder Probiotika eingesetzt, andere sind als Verursacher von opportunistischen Spitalinfektionen beschrieben (Top et al. 2008). Im Käse sind Enterokokken für die Bildung von Tyramin verantwortlich (Leuschner et al. 1999). Enterokokken sind dafür bekannt, dass sie Antibiotika-Resistenzgene erwerben und weitergeben

Zusammenfassung

In der Herstellung von traditionellen Käsesorten ist die Verarbeitung von frischer, möglichst schonend behandelter Milch von grosser Bedeutung. Durch die möglichst weitgehende Erhaltung des Mikrobioms und der Aktivität der originären Enzyme der Rohmilch bewahren diese Käse ihren ursprünglichen Charakter. Diese Zielsetzung steht in Konflikt zu wachsenden Anforderungen an die Lebensmittelsicherheit der Produkte. Diese Literaturübersicht befasst sich mit dem Einfluss der Vorbehandlung der Käsereimilch für die Lebensmittelsicherheit und die Qualität gereifter Käse. Dabei wird besonders auf die Hitzebehandlung, die Baktofugation und die Mikrofiltration eingegangen.

können (Teuber et al. 1999). Lebensmittelrechtlich wurden Enterokokken bisher nie als gesundheitsgefährdend eingestuft.

Der Verzehr von fermentierten Lebensmitteln, die hohe Gehalte an biogenen Aminen enthalten, stellt ebenfalls ein gesundheitliches Risiko dar. Unerwünscht sind vor allem die Amine Histamin und Tyramin, die beide ein breites Spektrum an gesundheitlichen Beschwerden auslösen können. Gehalte von mehr als 300–500 mg/kg Käse führen zu geschmacklichen Abweichungen und Lochungsfehlern und limitieren die Ausreifbarkeit (Wechsler et al. 2009). Die Abwesenheit aminbildender Mikroorganismen (*Lactobacillus parabuchneri*, Enterokokken und Enterobakterien) in der Rohmilch ist eine wichtige Voraussetzung für die Herstellung von qualitativ einwandfreiem Käse.

Lebensmittelsicherheit und -qualität von Rohmilchkäse

In der Schweiz wird etwas mehr als ein Drittel der produzierten Milchmenge zu Rohmilchkäse verarbeitet. Gereifte Halbhart- und Hartkäse gelten als relativ sichere Lebensmittel, da die meisten pathogenen Keime während der Käsereifung kontinuierlich absterben. In Halbhartkäse ist die Absterberate allerdings niedriger als in Hartkäse. Besonders *Listeria monocytogenes* und *Mycobacterium avium* ssp. *paratuberculosis* fallen durch Absterberaten von 0,5 log oder weniger pro Monat auf (Bachmann und Spahr 1995, Spahr und Schafroth 2001). Da Halbhartkäse aufgrund des höheren Wassergehaltes schneller reifen und meist früher konsumiert werden, bergen sie grössere Hygienrisiken als Hartkäse.

Die mikrobiologischen Gefahren, die im Rahmen einer HACCP-Studie für Halbhart- und Hartkäse adressiert werden müssen, umfassen vor allem jene Mikroorga-

Tab. 1 | Pathogene bzw. toxinbildende Mikroorganismen: Häufigkeit in Rohmilch und Verhalten im Halbhartkäse (Verraes et al. 2015, Menéndez Gonzalez et al. 2011, Beuquier et al. 1997, Fröhlich-Wyder 2016)

Gefahr	Häufigkeit in Rohmilch	Wachstum	Inaktivierung	Relevanz
<i>Listeria monocytogenes</i>	0,1–1% ⁽¹⁾	auf der Oberfläche von Rotschmierekäsen	Abnahme im Käseteig: < 0,5 log/Monat	hoch
<i>Salmonella</i> spp.	< 0,1% ⁽¹⁾	nein (keine Laktosevergärung)	ca. 1 log/Monat	gering
Shiga-Toxin produzierende <i>Escherichia coli</i>	0,1–1% ⁽¹⁾	starke Vermehrung in den ersten 24 Stunden (Laktosevergärung)	ca. 1 log/Monat	hoch
<i>Staphylococcus aureus</i>	27–36% ⁽²⁾	starke Vermehrung in den ersten 24 Stunden, bei > 10 ⁵ KbE/g Toxinbildung möglich	2–3 log/Monat, Toxine werden nicht inaktiviert	hoch
Histaminbildende Laktobazillen	1–10% ⁽²⁾	im Herstellungsprozess und während der Reifung	langsame Inaktivierung nach 30–60 Tagen bei fortschreitender Histaminbildung	hoch
Tyraminbildende Enterokokken	> 10% ⁽²⁾	im Herstellungsprozess und während der Reifung	langsame Inaktivierung nach 30–60 Tagen bei fortschreitender Tyraminbildung	mittel

⁽¹⁾ Käsereimilch ab Hof. Anteil von N=601 Proben mit positivem Nachweis in 25g Milch (Agroscope, 2015, unveröffentlicht)

⁽²⁾ Anteil Proben mit mehr als 10 kbE/mL (Agroscope, 1997, unveröffentlicht)

nismen, die im Mikrobiom der Rohmilch relativ häufig auftreten und im Käse eine gute Überlebensfähigkeit aufweisen oder in bestimmten Phasen des Käseherstellungs- und Reifungsprozesses vermehrungsfähig sind und daher auch bei niederschweligen Kontaminationen problematische Keimzahlen erreichen können (Tab. 1). Von Bedeutung ist dabei auch, dass die in der Milch vorhandenen Mikroorganismen weitgehend in den Käse übergehen und somit rein physikalisch um etwa das Zehnfache angereichert werden.

Im Rahmen des HACCP-Konzeptes haben mikrobiologische Endproduktkontrollen hauptsächlich die Aufgabe, dessen Funktionieren zu überprüfen, und sie werden bei Halbhart- und Hartkäsen nicht engmaschig vorgenommen. Umso wichtiger ist, die in Tabelle 1 beschriebenen, mikrobiellen Gefahren durch einen gut kontrollierten Herstellungsprozess zu beherrschen.

Milchbehandlung zur Erhöhung der Lebensmittelsicherheit von Käse

Milchlagerung

Wird die Milch vor der Verarbeitung zu Käse keinem keimtötenden Verfahren unterzogen, kommt der mikrobiologischen Qualität der Rohmilch eine zentrale Bedeutung hinsichtlich der Lebensmittelsicherheit und der sensorischen Qualität des Käses zu. Gemäss Artikel 14 der Verordnung über die Hygiene in der Milchproduktion darf Käsereimilch bei einer Temperatur von mehr als 8°C gelagert werden, sofern die Verarbeitung spätestens 24h nach der Gewinnung erfolgt. Die Temperatur darf 18°C nicht überschreiten, und die Lebensmittelsicherheit muss jederzeit gewährleistet sein.

Wie Abbildung 1 zeigt, beschleunigt sich das Wachstum von *Escherichia coli* bei Temperaturen oberhalb von 12°C derart, dass bei einer Lagerdauer von nur zwölf Stunden

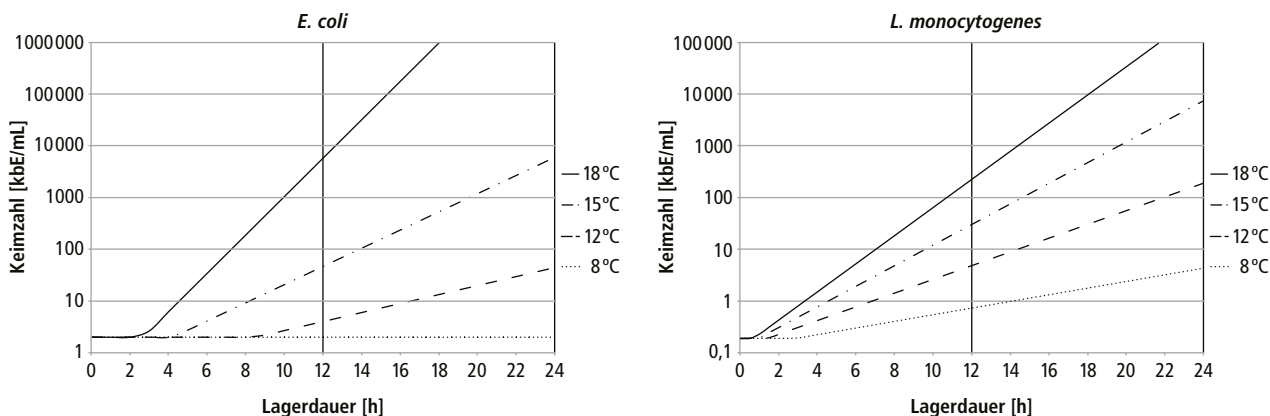


Abb. 1 | Vermehrung von *Escherichia coli* (links) und *Listeria monocytogenes* in Milch bei verschiedenen Temperaturen (Simulation mit Sym'previus, Leporq et al. 2005)

Tab. 2 | Temperatur-Zeit-Kombinationen für die Pasteurisation von Milch mit einem Fettgehalt von max. 10% gemäss der US Pasteurized Milk Ordinance (FDA 2011)

Temperatur [°C]	Heisshaltezeit
63	30 Minuten
72	15 Sekunden
89	1 Sekunde
90	0,5 Sekunden
94	0,1 Sekunden
100	0,01 Sekunden

den eine inakzeptable Kontamination der Verarbeitungsmilch entstehen kann. Unterhalb von 10°C erfolgt dagegen in 24h keine nennenswerte Vermehrung von pathogenen Keimen in der Milch. Eine Ausnahme bildet *Listeria monocytogenes*, die selbst bei 0°C noch vermehrungsfähig ist.

Die Branchenleitlinie für die gute Verfahrenspraxis in Sömmerungsbetrieben (SAV-Leitlinie) verbietet deshalb eine Milchlagerung bei Temperaturen von mehr als 15°C, falls Rohmilch zu Halbhartkäse verarbeitet wird.

Milcherhitzung

Die Hitzebehandlung der Milch ist das gebräuchlichste Verfahren zu Eliminierung unerwünschter Keime aus der Käsereimilch. Dabei unterscheidet man zwischen Pasteurisation und Thermisation. Die **Pasteurisation** der Milch ist gemäss Hygieneverordnung definiert als eine

Hitzebehandlung bei 72°C während mind. 15s oder eine Temperatur-Zeit-Kombination mit gleicher Wirkung (Tab. 2), die zu einem negativen Phosphatase-Test führt. Unter diesen Bedingungen wird die Keimzahl von pathogenen Mikroorganismen wie *Coxiella burnetii* um 7 log reduziert (Cerf und Condron 2006).

In Tabelle 3 sind typische D- und z-Werte für verschiedene Bakterienarten zusammengestellt. D- und z-Werte variieren stammspezifisch. Einige pathogene Keime zeigen einen deutlich höheren z-Wert als *C. burnetii*, was bedeutet, dass deren D-Wert weniger stark auf Temperaturveränderungen reagiert. So ist zum Beispiel *Salmonella enterica* serovar Senftenberg erheblich hitzeresistenter als andere Salmonellen. Auch Milieu und Testbedingungen haben Einfluss auf die Werte (Sörqvist 2013).

Im Unterschied zur Pasteurisation ist die **Thermisation** gesetzlich nicht präzise definiert. Gemäss Artikel 40 der VLtH gilt die Käsereimilch als thermisiert, falls sie auf eine Temperatur von über 40°C und weniger als 72°C während mindestens 15s erwärmt wurde und der Phosphatasetest noch positiv ist.

Die Thermisation der Käsereimilch hat in erster Linie zum Zweck, das Risiko von Fehlgärungen zu reduzieren. Aufgrund der geringeren Hitzebelastung werden Enzyme wie die Lipoproteinlipase und thermotolerante Bakterien wie Pediokokken und Enterokokken weniger stark inaktiviert (Tab. 3), was sich auf die Reifung und die Aromaentwicklung der Käse auswirkt (Franklin und Sharpe 1963; Grappin und Beuvier 1997; Foulquié Moreno et al. 2006; Hickey et al. 2007).

Tab. 3 | D- und z-Werte für die Hitzeinaktivierung verschiedener Bakterienarten

Bakterienart	Medium	D-Wert 65°C [s]	z-Wert [°C]	Quelle
<i>Campylobacter jejuni/coli</i>	diverse Medien	1,3	6,4	Sörqvist 2003
<i>Coxiella burnetii</i>	Milch	156,1	4,4	Cerf und Condron 2006
<i>Enterococcus faecalis</i>	diverse Medien	123,2	9,5	Sörqvist 2003
<i>Escherichia coli</i>	diverse Medien	5,6	6,0	Sörqvist 2003
<i>Listeria monocytogenes</i> ¹	Milch	21,6	6,7	Sörqvist 2003
<i>Mycobacterium avium</i> ssp. <i>paratuberculosis</i>	Milch	68,5	7,1	Sung und Collins 1998
<i>Mycobacterium bovis/caprae</i> ²	Milch	6,6	5,3	Hammer et al. 2015
<i>Salmonella</i> spp. ³	diverse Medien	2,6	5,2	Sörqvist 2003
<i>Staphylococcus aureus</i>	Milch	15,4	9,5	Firstenberg-Eden et al. 1977
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Milch und andere Medien	5,4	6,7	Sörqvist 2003

¹ Mittelwerte errechnet anhand der Regressionsgleichungen von Sörqvist (2013) für Experimente mit Kapillarröhrchen bzw. Schlängenerhitzer

² Mittelwerte errechnet anhand der D-Werte bei 60, 62 und 65°C von zwei Stämmen von *M. caprae* und einem Stamm von *M. bovis*

³ Werte für *Salmonella* spp. ohne die hitzeresistentere *S. Senftenberg*

Tab. 4 | Reduktion der Keimzahl von *Listeria monocytogenes* und Salmonellen bei verschiedenen Thermisationsbedingungen berechnet anhand durchschnittlicher D- und z-Werte

Thermisationsbedingungen		Keimreduktion	
Temperatur [°C]	Heisshaltezeit	<i>Listeria monocytogenes</i> ¹	<i>Salmonella</i> spp. ²
57°C	15 s	<0,1 log	0,2 log
62°C	15 s	0,2 log	1,5 log
65°C	15 s	0,7 log	5,7 log
68°C	15 s	2,0 log	>7 log

¹ Berechnungsbasis: D-Wert bei 65°C in Milch: 21,6 s, z-Wert: 6,7°C (Sörqvist, 2003)

² Berechnungsbasis: D-Wert bei 65°C in div. Medien: 2,6 s, z-Wert 5,2°C für *Salmonella* spp. ohne *S. Senftenberg* (Sörqvist, 2003)

Der Vacherin Mont d'Or AOP darf gemäss Pflichtenheft nur aus Milch hergestellt werden, die einer Hitzebehandlung bei 57 bis 68°C während höchstens 15 s unterzogen wurde (Anon. 2014c). Die Zahlen in Tabelle 4 zeigen aber, dass bei 57°C und einer Heisshaltezeiten von 15 s Listerien und Salmonellen nur geringfügig inaktiviert werden. Auch bei Temperaturen von 62 und 65°C wird *Listeria monocytogenes* in 15 s nicht entscheidend inaktiviert (Reduktion um 0,2 log = 40% bzw. um 0,7 log = 80%).

Wird die Thermisation der Käsereimilch im Rahmen einer HACCP-Studie als Massnahme zur Beherrschung mikrobieller Gefahren in einem bestimmten Käse betrachtet, so kommt man nicht umhin, ähnlich wie für die Pasteurisation gleichwertige Temperatur-Zeit-Kombination zu definieren. Eine solche Definition findet sich darum in

der SAV-Leitlinie: einer Temperatur-Zeit-Kombination von 65°C/15 Sekunden entsprechen 60°C/5 Minuten oder 57°C/30 Minuten (berechnet mit einem z-Wert von 4,3°C).

Baktofugation

In den Sechzigerjahren kamen spezielle als Baktofugen bezeichnete Zentrifugen auf den Markt. Sie fanden in der Käseindustrie eine grosse Verbreitung, weil sich damit die hitzeresistenten Sporen von *Clostridium tyrobutyricum* aus der Milch entfernen liessen, welche die gefährlichen Spätblähungen im Käse verursachen (Bergère et al. 1969, Jacobsson und Thurell 1970, Invernizzi 1984). Mit Hilfe der Baktofugation (BF) wurde es möglich, Käse aus Silomilch ohne die schon damals umstrittene Zugabe von Nitrat herzustellen (Walstra et al. 1999).

Die BF beruht auf dem Dichteunterschied zwischen der Milch ($d_4^{20} = 1.034$ g/mL) und den Mikroorganismen. Vor allem Bakteriensporen haben eine hohe Dichte von 1.30–1.32 g/mL. Vegetative Zellen haben eine Dichte von nur 1,07–1,12 g/mL und werden darum bei der BF weniger gut eliminiert als Sporen (Deeth und Datt 2011). Neben der Dichte ist die Zellgrösse von Bedeutung. Grosse Zellen und Zellverbände werden besser abgetrennt als kleine. Da der Wirkungsgrad der BF stark von der Viskosität abhängig ist, muss die Milch erwärmt werden. In der Käsereipraxis wird gewöhnlich bei 55 bis 60°C baktofugiert (Spreer 2011). Silomilch wird nicht selten doppelt baktofugiert.

Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass durch BF der Milch je nach Bedingungen 90 bis 99,5% der Bakteriensporen eliminiert werden können, was einer Reduktion um 1–2,3 log entspricht (Tab. 5). Anaerobe Sporen (z. B.

Tab. 5 | Wirksamkeit der Baktofugation von Milch zur Reduktion des Sporengehaltes

Mikroorganismus	Beschleunigung	Temp.	Volumstrom	Reduktion	Quelle
<i>Bacillus subtilis</i>	9000 g	71°C	5400 L/h	98,8%	Torres-Anjel und Hedrik 1971
<i>Bacillus subtilis</i>	9000 g	71°C	1800 L/h	99,2–99,8%	Torres-Anjel und Hedrik 1971
<i>Bacillus cereus</i>	9000 g	71°C	5400 L/h	90,3%	Torres-Anjel und Hedrik 1971
<i>Bacillus cereus</i>	9000 g	82°C	5400 L/h	97,1%	Torres-Anjel und Hedrik 1971
<i>C. tyrobutyricum</i>	kA.	60°C	6000 L/h	95,8%	Bergère et al. 1969
<i>C. tyrobutyricum</i>	kA.	65°C	6000 L/h	96,4%	Bergère et al. 1969
<i>C. tyrobutyricum</i>	kA.	65°C	4000 L/h	97,6%	Bergère et al. 1969
<i>C. tyrobutyricum</i>	kA.	70°C	6000 L/h	97,5%	Bergère et al. 1969
Anaerobe Sporen	kA.	48°C	kA.	97,4–98,7%	Te Giffel und van der Horst 2004
Aerobe Sporen	kA.	48°C	kA.	94,1–97,7%	Te Giffel und van der Horst 2004
Anaerobe Sporen	kA.	50°C	48000 L/h	99,40%	GEA 2015

Tab. 6 | Elimination vegetativer Zellen von Mikroorganismen durch BF der Milch

	Flussrate [L/h]	Temperatur [°C]	Keim-Reduktion [%]	Quelle
aerobe mesophile Keime	25 000	55–65	86–92	Te Giffel und van der Horst 2004
aerobe mesophile Keime	30 000	55	10	Faccia <i>et al.</i> 2013
Enterobakterien	30 000	55	72	Faccia <i>et al.</i> 2013
<i>Escherichia coli</i> ¹	2950 (50%)	54,4	95,3 (doppelte BF)	Kosikowski und Fox 1968
Enterokokken	30 000	55	7	Faccia <i>et al.</i> 2013
Hefen	30 000	55	55	Faccia <i>et al.</i> 2013
Laktobazillen	k.A.	50	90	McCarthy 2011
Laktobazillen	30 000	55	33	Faccia <i>et al.</i> 2013
<i>Mycobacterium avium</i> spp. <i>paratuberculosis</i>	k.A.	60	74–93	Grant 2005

¹ Zwei Baktofugen in Serie wurden mit 50% der nominellen Leistung (L/h) betrieben. Die Reduktion der Keimzahl um 95,3% nach zweimaliger BF entspricht einer Reduktion um ca. 78% pro Behandlung.

Clostridium tyrobutyricum) werden besser abgeschieden als aerobe Sporen (*Bacillus* spp.) (Te Giffel und van der Horst, 2004; Deeth und Datt 2011; GEA 2015).

Verschiedene Autoren haben die Wirkung der BF auch auf die vegetativen Bakterien in der Milch untersucht. Die Befunde sind aber sehr inkonsistent (Tab. 6). Nach Te Giffel und Van der Horst (2004) kann die Gesamtkeimzahl von Rohmilch durch BF bei 55–65°C um 86–92% reduziert werden. Dies entspricht einer Reduktion um rund 1 log. Faccia *et al.* (2013) stellten unter Praxisbedingungen eine viel geringere Reduktionsrate und grosse Unterschiede zwischen den Keimgruppen fest. Enterobakterien wurden um 72%, Enterokokken um 7% und die aeroben mesophilen Keime um 10% reduziert. Die deutliche Reduktion der Enterobakterien deckt sich mit den Ergebnissen von Kosikowski und Fox (1968), die mit einer Doppel-BF eine Reduktion um 95% erreichten. Dies entspricht einer Reduktion um ca. 78% pro Behandlung. Der Umstand, dass sich Enterobakterien und Enterokokken vor allem in der Hitze-resistenz unterscheiden (Tab. 3), weist darauf hin, dass die Hitzebelastung während der BF wesentlich zur Reduktion von Enterobakterien und anderen thermolabilen Mikroorganismen beiträgt. Die Verweilzeit der Milch in der Baktofuge bewegt sich im Bereich von nur 5–7s (Grant 2005). Zu berücksichtigen ist aber auch die Transportzeit vom Milcherhitzer zur Baktofuge und wieder zurück. Agroscope untersuchte industriell baktofugierte Milch (Heisshaltezeit 30s bei 62°C). Im Vergleich zur nur thermisierten Milch wurde keine signifikante Reduktion der Enterokokken beobachtet (Fraginière und Bütikofer 2006).

Die Ergebnisse in Tabelle 6 bestätigen die Aussage von Kessler (Kessler 1988), wonach sich pathogene Mikroor-

ganismen durch BF der Milch bei Subpasteurisationsbedingungen nicht zuverlässig eliminieren lassen.

Mikrofiltration

Der Einsatz von Membrantrennverfahren zur Elimination von Mikroorganismen begann in den Achtzigerjahren und wurde vor allem durch das von Tetra Pak patentierte Bacto Catch™ Verfahren bekannt (Gillot *et al.* 1984, Holm *et al.* 1986). In der Regel kommen Keramikmembranen mit einer Porengrösse von 1,4 µm zum Einsatz. Diese Porengrösse erlaubt es, Mikroorganismen im sogenannten Retentat zurückzuhalten ohne zu viel micellares Casein zu verlieren (Te Giffel und van der Horst, 2004). Im Unterschied zur BF wird bei der Mikrofiltration (MF) immer die entrahmte Milch behandelt. Der Rahm muss zusammen mit dem Retentat einer UHT-Behandlung unterzogen werden, um die Bakteriensporen zu inaktivieren. Die MF erfolgt meist bei 50°C, um die Viskosität der Milch zu reduzieren und dem Wachstum von Mikroorganismen entgegen zu wirken.

Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass die MF eine Keimreduktion in der Magermilch um 2 bis 4 log bewirkt (Trouvé *et al.* 1991; Klantschitsch 1999; Saboya und Mau-bois 2000; Elwell und Barbano 2006). Die Reduktionsraten von Sporen und vegetativen Keimen sind anders als bei der BF nicht wesentlich verschieden. Trouvé *et al.* (1991) beimpften Magermilch mit verschiedenen gram-negativen und grampositiven Bakterienarten sowie Sporen von *Clostridium tyrobutyricum* und mikrofiltrierten die Milch bei 50°C unter Verwendung eines Keramikfilters mit einer Porengrösse von 1,4 µm. Von allen Spezies wurden 99,90–99,98% der Keime eliminiert, was einer Reduktion um 3–4 log entspricht.

Im Unterschied zur BF ist die MF der Käsereimilch in der Schweiz wenig verbreitet. Das liegt nicht nur daran, dass die MF eine vergleichsweise junge Technologie ist. Sie verursacht auch höhere Investitions- und Betriebskosten (GEA 2015). Bio Suisse verbietet ausserdem die UHT-Behandlung von Rahm, der zur Herstellung von Käse mit Knospe-Label verwendet wird, was die Anwendung der MF erschwert.

Diskussion

Die meisten Käsesorten mit geschützter Ursprungsbezeichnung AOP werden ausschliesslich aus Rohmilch hergestellt. Kein Schweizer AOP-Pflichtenheft erlaubt gegenwärtig die Pasteurisation, Baktofugation oder Membranfiltration zur Keimreduktion in der Rohmilch. Hingegen lassen sie bei den für die Lebensmittelsicherheit relevanten Parametern einen grossen Spielraum, insbesondere bei der Lagerung und der allenfalls erlaubten Thermisation der Milch sowie bei der Brenntemperatur. Das Mikrobiom und die originären Enzyme der Rohmilch haben einen wesentlichen Einfluss auf die Reifung und die Aroma-Entwicklung im Käse. Die minimale Vorbehandlung der Milch gemäss den AOP-Pflichtenheften hat zum Ziel, den ursprünglichen Charakter der traditionellen Käsesorten zu bewahren. Diese Zielsetzung steht in Konflikt zu den wachsenden Anforderungen bezüglich der Lebensmittelsicherheit von Käse. Obwohl keine Grenzwerte für biogene Amine in Käse bestehen, werden Käse bei erhöhten Gehalten im In- und Ausland vermehrt beanstandet. Als weitere Herausforderung sind die Shiga-Toxin produzierenden *Escherichia coli* (STEC) anzusehen. Die Europäische Kommission ist daran, eine Richtlinie betreffend Lebensmittel, die mit STEC kontaminiert sind, auszuarbeiten. Gemäss dem vorliegenden 4. Entwurf müssten Käse, in denen Shiga-Toxin-Gene nachgewiesen wurden, in aufwändigen Zusatzanalysen auf die Anwesenheit lebender STEC abgeklärt werden und gegebenenfalls als nicht verkehrsfähig beurteilt werden. Im Falle einer Inkraftsetzung wird auch die Schweizer Käsewirtschaft stark von dieser Richtlinie betroffen sein.

Die Bedingungen für die Milchlagerung und die Thermisation wurden in der SAV-Leitlinie eng definiert. Eine Thermisation bei 65°C während mindestens 15s ist geeignet, die pathogenen Enterobakterien (STEC, Salmonellen) als Gefahr in gereiften Käsen weitgehend zu beherrschen. Auch *Staphylococcus aureus* wird unter diesen Bedingungen soweit reduziert, dass eine Toxinbildung im Käse, die eine Keimzahl von $>10^5$ KbE/g erfordert, sehr unwahrscheinlich ist. Die vergleichsweise hitzeresistenten Listerien müssen und können mit zusätzlichen spezifischen Massnahmen beherrscht werden, wie z.B. der Untersuchung des Wassers nach feuchter Käsepflege. Schwieriger zu beherrschen sind jene thermoduren Keime, die im reifenden Käse vermehrungsfähig sind, namentlich tyraminbildende Enterokokken und der histaminbildende *Lactobacillus parabuchneri*. Bei diesen Keimen kommt der Rohmilchqualität eine zentrale Rolle zu. Die BF der Milch vermag thermodure Keime, mit Ausnahme von Bakteriensporen, nicht substantiell zu reduzieren. Enterobakterien und andere thermolabile Keime werden bei der Baktofugation v. a. thermisch inaktiviert. Die BF bringt somit im Vergleich zu einer Thermisation mit gleicher Temperatur und Verweilzeit, keine wesentliche Verbesserung der Lebensmittelsicherheit von Käse. Unbestritten ist aber, dass sich durch BF der Rohmilch das Risiko von durch Clostridien sporen verursachten Fehlgerüchen im Käse erheblich reduzieren lässt. Die MF der Milch erlaubt eine weitgehend vollständige Entfernung aller Mikroorganismen. Sie leistet damit auch einen wesentlichen Beitrag zur Lebensmittelsicherheit von Käse. Allerdings muss die Milch vor der MF entrahmt werden. Der Rahm wird dann üblicherweise UHT behandelt und teilweise der mikrofiltrierten Milch wieder zugefügt. Wie Beuvier *et al.* (1997) zeigten, liegen Käse aus derart aufbereiteter Milch sensorisch nahe beim Käse aus pasteurisierter Milch. Bei Verarbeitung von silofreier Milch ist anstelle einer UHT-Behandlung auch eine Pasteurisation des Rahms denkbar. In Frankreich ist eine Debatte darüber entstanden, ob die Mikrofiltration nicht eine Technologie zur Herstellung traditioneller Rohmilchkäsesorten unter gleichzeitiger Einhaltung der Europäischen Hygienerichtlinien sein könnte (Bérard und Marchenay 2004, Majdi 2009). ■

Riassunto**Sicurezza alimentare del formaggio: procedura di trattamento del latte di caseificio**

Nella produzione di tipi di formaggio tradizionali, un trattamento del latte fresco particolarmente delicato è di importanza fondamentale. Grazie a un mantenimento il più possibile intatto del microbioma e delle attività degli enzimi originali, il latte crudo conferisce un carattere tradizionale a questi formaggi. Questi obiettivi sono in contraddizione con l'aumento dei requisiti da rispettare in materia di sicurezza alimentare dei prodotti. La seguente panoramica bibliografica si concentra sull'influenza dei trattamenti del latte di caseificio per la sicurezza alimentare e la qualità dei formaggi stagionati. Si approfondisce in particolare il trattamento termico, la centrifugazione per la rimozione dei batteri e la microfiltrazione.

Summary**Food safety of cheese: process for the treatment of cheesemaking milk**

In the manufacture of traditional types of cheese, the processing of fresh milk that has been treated as gently as possible is of crucial importance. Preserving the microbiome and the activity of the original enzymes in the raw milk to the greatest extent possible allows these cheeses to retain their original character. This objective conflicts with the growing demands placed on products in terms of food safety. The present overview of the literature deals with the influence of the pre-treatment of cheesemaking milk on the food safety and quality of ripened cheeses, with a particularly detailed look at heat treatment, bactofugation and microfiltration.

Key words: cheese making, food safety, milk treatment, pasteurization, thermization, bactofugation, microfiltration.

Literatur

- Das Literaturverzeichnis ist bei den Autoren erhältlich.