



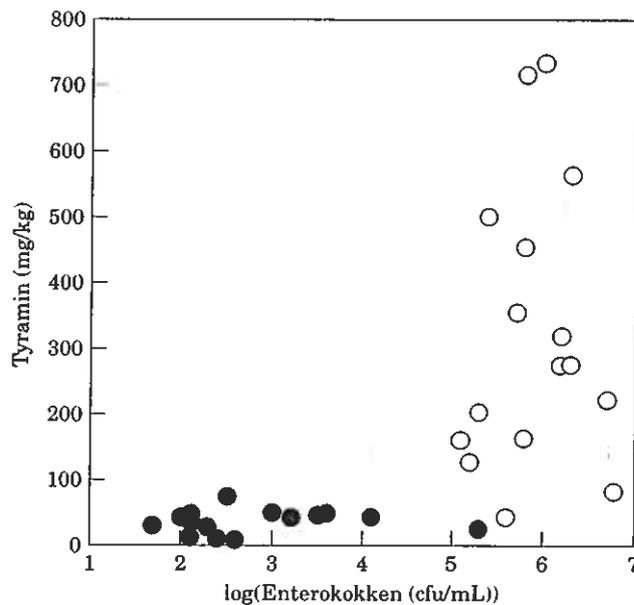
Juni 1997 / 339 W

¹⁾ Deutsche Forschungsanstalt für
Lebensmittelchemie und Institut für
Lebensmittelchemie der Technischen
Universität München
D-85748 Garching

²⁾ Eidg. Forschungsanstalt
für Milchwirtschaft, Liebefeld
CH-3003 Bern

**Reifungsverlauf von in Folien verpacktem Emmentaler
Käse mit und ohne Zusatz von *Lactobacillus casei* subsp.
casei. I. Mikrobiologische, Chemische, Rheologische und
Sensorische Untersuchungen**

²⁾ H.P. Bachmann, ²⁾ U. Bütikofer, ²⁾ R. Badertscher,
²⁾ M. Dalla Torre, ²⁾ P. Lavanchy, ²⁾ U. Bühler-Moor,
²⁾ B. Nick, ²⁾ J. Jimeno, ¹⁾ R. Warmke, ¹⁾ W. Grosch,
²⁾ R. Sieber und ²⁾ J.O. Bosset



Reifungsverlauf von in Folien verpacktem Emmentaler Käse mit und ohne Zusatz von *Lactobacillus casei* subsp. *casei*. I. Mikrobiologische, Chemische, Rheologische und Sensorische Untersuchungen

H. P. Bachmann, U. Bütikofer, R. Badertscher, M. Dalla Torre, P. Lavanchy, U. Bühler-Moor, B. Nick, J. Jimeno, R. Warmke, W. Grosch, R. Sieber und J. O. Bosset*

H. P. Bachmann, U. Bütikofer, R. Badertscher, M. Dalla Torre, P. Lavanchy, U. Bühler-Moor, B. Nick, J. Jimeno, R. Sieber, J. O. Bosset: Eidgenössische Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, Liebefeld, CH-3003 Bern (Schweiz)

R. Warmke, W. Grosch: Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie und Institut für Lebensmittelchemie der Technischen Universität München, Lichtenbergstrasse 4, D-85748 Garching (Deutschland)

(Erhalten Juni 12, 1996; angenommen September 28, 1996)

Ripening of Emmental Cheese Wrapped in Foil with and without Addition of *Lactobacillus casei* subsp. *casei*. I. Microbial, Chemical, Rheological and Sensorial Investigations

The present work describes the ripening of eight quarters of raw milk Swiss Emmental cheese loaves which were packaged at 3 months in a plastic sheet. The loaves were manufactured with and without addition of L. casei subsp. casei to the usual starter cultures. Samples were taken at 3, 6, 9 and 12 months of ripening. The following parameters were measured and statistically compared: microbial composition (propionic bacteria, enterococci and facultative heterofermentative lactic acid bacteria); chemical composition (water, fat, total nitrogen, water soluble nitrogen, nonprotein nitrogen, ammonium, water soluble minerals, copper, volatile fatty acids, lactic, citric and succinic acid, the ortho-phthalaldehyde-, p-benzoquinone- and cadmium-ninhydrin-values, free amino acids as well as biogenic amines); rheological properties (penetration depth, deformation and force at fracture, force at 33% deformation); sensorial properties such as taste (sweet, salty, acidic and bitter), odour and flavour intensity as well as other quality criteria (eye formation, body structure and consistency as well as shelf-life). Inhibition of propionic acid fermentation and enterococci was observed after addition of L. casei subsp. casei with a reduction in the production of tyramine without any loss of flavour properties of this cheese variety.

Die vorliegende Arbeit untersucht die Reifung von 8 im Alter von 3 Monaten in Folien vakuumverpackten Schweizer Emmentaler Käsen aus Rohmilch ohne und mit einem Zusatz von Lactobacillus casei subsp. casei nach 3, 6, 9 und 12 Monaten. Die Änderungen der mikrobiologischen (Propionsäurebakterien, Enterokokken und fakultativ heterofermentative Laktobazillen) und chemischen Zusammensetzung (Wasser, Fett, Gesamtstickstoff, wasserlöslicher Stickstoff, Nicht-Protein-Stickstoff, Ammonium, wasserlösliche Mineralstoffe, Kupfer, flüchtige Fettsäuren, Milch-, Zitronen- und Bernsteinsäure, ortho-Phthalaldehyd-, p-Benzochinon- und Cadmium-Ninhydrin-Wert, freie Aminosäuren und biogene Amine), der rheologischen (Eindringtiefe, Deformation und Kraft bei Bruch, Kraft bei 33% Deformation) und sensorischen Messgrößen sowie einiger anderer Qualitätskriterien (u.a. Lochung, Konsistenz und Struktur des Teiges sowie Lagerfähigkeit) wurden für die beiden Varianten statistisch verglichen. Es wurde eine durch L. casei subsp. casei verursachte Hemmung der Propionsäuregärung und der Enterokokken beobachtet, wodurch die Tyraminbildung reduziert wurde, ohne dass sensorische Qualitätsmerkmale dieser Käsesorte beeinträchtigt wurden.

©1997 Academic Press Limited

Keywords: Emmental cheese; ripening; *Lactobacillus casei* subsp. *casei*; packaged cheese; analyses

Einleitung

Der Reifungsverlauf von schweizerischen Hart- (1, 2) und Halbhartkäsen (3–5) wurde in den letzten 15 Jahren eingehend untersucht. Beim Emmentaler Käse sind zahlreiche Daten über die chemischen, mikrobiologischen, rheologischen und sensorischen Merkmale

im Alter von 4–5 Monaten (6–8) und die Zusammensetzung in konsumreifem Zustand (9) sowie über den Gärungsverlauf von Käsen mit und ohne Nachgärung (10, 11) vorhanden. Für die Fabrikation von Emmentaler Käsen werden vorwiegend *Lactobacillus* (L.) *delbrückii* subsp. *lactis* und *Streptococcus thermophilus* eingesetzt. Seit einiger Zeit wird von vielen

*Korrespondenzautor.

Emmentaler Käsebetrieben zudem *L. casei* subsp. *casei* verwendet, um der Gefahr einer Nachgärung entgegenzuwirken.

Die Gattung *L. casei* gehört zu einer Gruppe von Laktobazillen, die die Mehrzahl der Hexosen homofermentativ unter Bildung von L-Milchsäure und anderen Zuckern oder Stoffwechselprodukten sowie heterofermentativ unter Bildung von L-Milch-, Essig-, Ameisensäure und Ethanol sowie Kohlendioxid vergären (12, 13). Sie werden deswegen traditionellerweise fakultativ heterofermentativ genannt wie auch andere mesophile Laktobazillen (beispielsweise *L. rhamnosus* und *L. plantarum*). Diese Gattungen scheinen in Käse gut zu wachsen und bilden ohne Zweifel den grössten Teil der 'wilden' Käseflora zahlreicher Käse. In den schweizerischen Hartkäsen findet sich vor allem *L. casei* und *L. rhamnosus*, die die Temperaturbedingungen bei der Fabrikation überstehen (14), im Gegensatz zu *L. plantarum*, der in der natürlichen Flora des Cheddars vorherrscht (15). *L. casei* wird für die beschleunigte Käsereifung von Cheddar (16) und für die Herstellung von probiotischen Kulturen für Sauermilchprodukte (17) verwendet. Gewisse Stämme von *L. casei* und *L. rhamnosus* sind in der Lage, das Wachstum von Enterokokken, der salztoleranten Flora und von Propionsäurebakterien zu hemmen.

Im Gegensatz zu zahlreichen Stämmen der gleichen Art können solche hemmenden Stämme in Gegenwart der Zitronensäure als einziger Energiequelle sehr rasch wachsen (13). Der Verbrauch der Zitronensäure vollzieht sich stöchiometrisch nach folgender Gleichung: 1 Zitronensäure = 2 Essig- + 1 Ameisensäure + 1 Kohlendioxid (Gleichung 1). Dabei bildet sich aber mehr Kohlendioxid, als nach dieser Gleichung zu erwarten wäre (13). *L. casei* hat die Fähigkeit, die Käseflora teilweise zu hemmen, und deshalb ist er für die Herstellung von Kulturen besonders geeignet. Die frühzeitige Bildung von Kohlendioxid aus der Zitronensäure kann auch dahingehend ausgenutzt werden, um die Lochung von gewissen Käsesorten, im speziellen von Halbhartkäsen, zu verbessern.

Mit der vorliegenden Studie sollten Veränderungen im Laufe einer einjährigen Käsereifung und der Einfluss des Zusatzes von *L. casei* subsp. *casei* untersucht werden. In einer weiteren Arbeit wird das Vorkommen und Verhalten der flüchtigen (18: Teil II) sowie der geruchs- und geschmacksaktiven (19: Teil III) Verbindungen behandelt. Über das Vorkommen von Peptiden wird separat berichtet (Teil IV, in Vorbereitung). Aus praktischen Gründen wurde für diese Studie in Folien gelagerter Emmentaler Käse verwendet, was nicht den Bedingungen in der Praxis entspricht. Um einen eventuellen Einfluss der Folienverpackung auf die Reifung von Emmentaler Käsen abzuklären, wurden noch zusätzlich 10 nicht in Folien gereifte Käse (Alter ca. 9 Monate) aus dem Handel bezogen und diese auf dieselben Parameter untersucht. Diese Reihe von Artikeln wird mit einem Syntheseartikel abgeschlossen.

Experimenteller Teil

Käseproben

Von 8 Emmentaler Käseereien wurde je ein 3 Monate alter Laib ausgewählt (Produktion: Mai 1994). Die Käse wurden mit (Variante 1) und ohne (Variante 2 = Kontrollkäse) Zusatzkultur von *L. casei* subsp. *casei* hergestellt. Die Laibe wurden in vier Stücke aufgeteilt. Ein Viertel wurde sofort analysiert und die anderen drei Viertel in Kunststoffolien vakuumverpackt, bei 11–12 °C weitergereift und im Alter von 6, 9 und 12 Monaten analysiert. Von der Schnittfläche wurden jeweils 5 cm, von der Rinde 3 cm und vom verbleibenden Käsestück die Randstücke in der Weise weggeschnitten, dass ein Quader von ca. 25 cm Seitenlänge vorlag. Es wurde darauf geachtet, dass die Lokalisation der Proben innerhalb dieses Quaders bei den entsprechenden Analysen während den 4 Reifestadien stets die gleiche war.

Untersuchungsmethoden

Die Untersuchung der verschiedenen Parameter wurde zum grössten Teil mit akkreditierten Methoden durchgeführt.

Für die mikrobiologische Zusammensetzung wurden folgende Keime bestimmt: Enterokokken (20), Propionsäurebakterien (21) und fakultativ heterofermentative (FH) Laktobazillen (22).

Für die chemische Zusammensetzung wurden die folgenden Komponenten analysiert: Wasser gravimetrisch (23), Fett nach Gerber-van Gulik (24), Gesamtprotein nach Kjeldahl (25), Kochsalz berechnet aus potentiometrisch/argentometrisch bestimmtem Chlorid (26), Kupfer mit Flammen-Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) nach nassem Aufschluss (27), Natrium, Kalium, Magnesium und Kalzium nach Extraktion als lösliche Mineralstoffe mittels AAS sowie Phosphat photometrisch als Molybdänblau nach Extraktion (28), flüchtige Fettsäuren (C1 bis C6) gaschromatographisch mit Flammenionisation-Detektion nach Wasserdampfdestillation und Veresterung mit Bortrifluorid/Propanol (29), Gesamt-, L- und D-Milchsäure und Zitronensäure enzymatisch (30), Bernsteinsäure enzymatisch nach Extraktion (28), wasserlöslicher Stickstoff (WLN) und Nicht-Protein-Stickstoff (NPN) nach Kjeldahl (25), Ammonium photometrisch (31) und die einzelnen freien Aminosäuren mit Hochdruckflüssigkeits-Chromatographie (HPLC) nach Vorsäulenderivatisierung mit o-Phthalaldehyd (32) sowie die biogenen Amine mit HPLC nach Vorsäulenderivatisierung mit Dansylchlorid (33). Zusätzlich wurden noch die folgenden Kriterien der Proteolyse photometrisch bestimmt: der p-Benzochinon- (34), o-Phthalaldehyd (OPA)- (35) und Cadmium-Ninhydrin-Wert (36). Instrumentell wurden die folgenden rheologischen Grössen gemessen: Eindringtiefe, Deformation und Kraft beim Bruch sowie Kraft bei 33% Deformation (37).

Im weiteren wurden die Käseproben sensorisch mit Hilfe eines geschulten Sensorikpanels ($n = 10-15$) beurteilt (38) und mit den folgenden Qualitätsmerkma-

Tabelle 1 Veränderungen der Mikroflora im Laufe der Reifung von in Folien verpacktem Emmentaler Käse

Parameter		Alter in Monaten							
		3		6		9		12	
		ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc
Enterokokken	\bar{x}	6.1	3.1**	5.7	3.0**	6.0	2.2***	5.8	2.8***
(log KBE/g)	s_x	0.5	1.5	0.5	1.1	0.7	0.6	0.4	0.6
Prop. Bakterien	\bar{x}		9.0		8.5		8.7		8.2***
(log KBE/g)	s_x		0.1		0.3		0.1		0.1
FH Laktobazillen	\bar{x}		7.4		7.2		6.7		7.3*
(log KBE/g)	s_x		0.2		0.4		0.2		0.3

Anzahl Käse $n=8$ (4 mit Lc und 4 ohne Lc).

Lc=*Lactobacillus casei* subsp. *casei*.

Prop.=Propionsäure.

FH=fakultativ heterofermentativ.

\bar{x} =Mittelwert; s_x Standardabweichung.

* $P<5\%$; ** $P<1\%$; *** $P<0.1\%$.

KBE=koloniebildende Einheit.

len charakterisiert: Geruchs- und Geschmacksintensität; Note süß, salzig, sauer und bitter (auf einer 7-Punkte-Skala). Käsefachexperten bewerteten die Gesamt-, Geschmacks- und Teignote sowie die Lochung, wobei 6 die beste und 1 die schlechteste Note war. Die Lagerfähigkeit wurde mit maximal 3 benotet. Die Teiglänge und -festigkeit sowie der Reifegrad konnten im Bereich von 2 (zu tief) bis 8 (zu hoch) beurteilt werden, wobei 5 als normal bezeichnet wurde.

Statistische Auswertung

Die arithmetischen Mittelwerte und Standardabweichungen wurden für alle Messgrößen berechnet. Die mikrobiologischen Parameter wurden vor der Mittelwertrechnung logarithmiert. Die Unterschiedsprüfungen der Mittelwerte wurden im Programm SYSTAT (39) mit dem Tukey-Test durchgeführt. In den Tabellen wurden die Werte, die keine signifikanten Unterschiede zwischen den Käsen mit und ohne *L. casei* subsp. *casei* aufwiesen, zusammengefasst.

Resultate und Diskussion

Einfluss der Reifung in Kunststoffolien

Die Reifung der Käse in Folien ab dem 3. Monat hat sich nur bis zum Alter von 10–11 Monaten als praxistauglich erwiesen. Danach traten bei einzelnen Käsen deutliches Fettschwitzen, Wasserlässigkeit und als Folge teilweise gasundichter Schweißstellen der Kunststoffolien Schimmelbildung auf. Trotz diesen Problemen am Ende der Reifung darf doch festgehalten werden, dass alle 8 Versuchskäse dem Anspruch nach qualitativ guten Emmentalern zu genügen vermochten, wie dies die nachstehenden Resultate verdeutlichen.

Mikrobiologische Zusammensetzung

Die Werte der mikrobiologischen Messgrößen zeigen einen statistisch signifikant niedrigeren Gehalt an

Enterokokken bei den Käsen mit *L. casei*-Zusatz (Tabelle 1). Diese Beobachtung bestätigt die an Modellkäsen erhaltenen Resultate (14). Bei diesen Käsen wurden die Enterokokken und die salztolerante Flora durch den Zusatz von fakultativ heterofermentativen Laktobazillen (*L. casei* oder *L. rhamnosus* (14)) deutlich gehemmt. Im weiteren zeigt die Tabelle 1, dass im Alter von 3, 6 und 12 Monaten die Konzentration an fakultativ heterofermentativen Laktobazillen in allen Käsen gleich ist. Im Verlaufe dieses Wachstums wurde ein mehr oder weniger grosser Teil, aber nicht die gesamte Menge der Zitronensäure verbraucht (Tabelle 2). Keime von *L. casei*, die nicht die Zitronensäure als einzige Energiequelle verwenden (13), wurden aus Käse isoliert. In dieser Arbeit wurde detailliert der Stoffwechsel des Zitrats und dessen Rolle in der Hemmung der Enterokokken beschrieben (13).

Im Alter von neun Monaten wurden im Käse mit *L. casei* subsp. *casei* signifikant mehr fakultativ heterofermentative Laktobazillen, dafür hochsignifikant weniger Propionsäurebakterien nachgewiesen. Auch wenn bei der Käsefabrikation keine fakultativ heterofermentativen Laktobazillen zugesetzt werden, gelingt es ubiquitären Stämmen aus dieser Keimgruppe sich im Käse stark zu vermehren und zwar in einem Ausmasse, dass bei den Keimzahlen im Käse zwischen den beiden Varianten nach 3 und 6 Monaten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden konnten. Erstaunlicherweise führte aber dieses vergleichbare Wachstum in den Käsen ohne den Zusatz von *L. casei* subsp. *casei* weder zu einer vollständigen Zitronensäure-Vergärung noch zu einer markanten Hemmung der Propionsäurebakterien (13). Auch weitere Parameter wie Asparaginsäure, Tyrosin, Ornithin, Kraft bei 33% Deformation, Gesamtnote sowie Teigfestigkeit zeigten nur beim 9 Monate alten Käse deutliche Unterschiede zwischen den beiden Varianten (siehe unten).

Grobchemische Zusammensetzung

Die grobchemische Zusammensetzung der untersuchten Emmentaler Käse ist in Tabelle 3 aufgelistet. Obwohl die Käse ab dem dritten Monat in einer Folie

Tabelle 2 Veränderungen der organischen Fettsäuren im Laufe der Reifung von in Folien verpacktem Emmentaler Käse

Parameter		Alter in Monaten							
		3		6		9		12	
		ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc
Ameisensäure (mmol/kg)	\bar{x} s_x	0.58 0.465	3.93*** 0.763	0.82 0.26	3.63*** 0.46	0.48 0.56	4.1** 1.4	0.45 0.53	2.85*** 0.58
Essigsäure (mmol/kg)	\bar{x} s_x		48.8 2.5		55.7 3.7		58.6 3.6		60.4 3.7
Propionsäure (mmol/kg)	\bar{x} s_x	78.4 4.8	47.9*** 7.1	93.5 4.3	57.3*** 8.0	98 2.4	65.1*** 7.8	97.1 3.0	67.9*** 6.3
n-Buttersäure (mmol/kg)	\bar{x} s_x		0.90 0.24		1.16 0.30		1.61 0.31		1.83 0.27
n-Caprinsäure (mmol/kg)	\bar{x} s_x		0.25 0.10		0.49 0.21	0.80 0.16	0.55* 0.10		0.85 0.17
Summe FS (mmol/kg)	\bar{x} s_x	129 4.4	102** 9.5	154 4.4	117*** 10.7	162 2.1	128*** 7.4	163 3.3	132*** 7.1
Milchsäure ges. (mmol/kg)	\bar{x} s_x	11.2 7.0	64.9*** 10.0	nn	59.5*** 7.7	5 4	55.5*** 8.5	3 3	53.6 8.3
L-Milchsäure (mmol/kg)	\bar{x} s_x	4.1 6.0	33.7*** 8.6	nn	31* 8.3	1 1	28.2** 9.1	1 2	27.8 6.9
D-Milchsäure (mmol/kg)	\bar{x} s_x	7.1 8.0	31.2** 6.8	nn	28.5** 4.1	4 2.8	27.3 4.5	2 1.9	25.8 5.0
Zitronensäure (mmol/kg)	\bar{x} s_x	7.2 0.6	0.2*** 0.1	5.6 1.1	nn**	5 1.5	nn**	4.6 1.5	nn**
Bernsteinsäure ^a (mmol/kg)	\bar{x} s_x		9.7 3.1	14.0 4.0		18.7 0.1	14.7 1.1	26.3 0.7	14.4 0.9

Legende: siehe **Tabelle 1**.

FS=Fettsäuren.

nn=nicht nachweisbar.

^an=je 2 statt 4 Käse pro Gruppe.

Tabelle 3 Veränderungen der grobchemischen Zusammensetzung im Laufe der Reifung von in Folien verpacktem Emmentaler Käse

Parameter		Alter in Monaten							
		3		6		9		12	
		ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc
Wasser (g/kg)	\bar{x} s_x	362		352		349		339	
Fett (g/kg TM)	\bar{x} s_x	498	6.3	490	8.4	492	6.2	479	3.1
Gesamt-Protein (g/kg TM)	\bar{x} s_x	435	13.7	439	6.4	437	9.9	435	7.5
Kupfer (μ mol/kg)	\bar{x} s_x	114	7.4		11.8		9.6		7.5

Legende: siehe **Tabelle 1**.

TM=Trockenmasse.

verpackt waren, nahm der Wassergehalt bis zum Alter von 12 Monaten noch signifikant um durchschnittlich 23 g/kg ab. Wenn man eine Wasserdurchlässigkeit der Verpackungsfolie als wenig wahrscheinlich annimmt, könnte diese Verminderung des Wassergehaltes einerseits durch die Bindung von Wasser infolge der Hydrolyse von Peptidbrücken und andererseits durch die heterogene Wasserverteilung im Käse infolge des Salzgradienten und der entsprechenden Migration des Wassers vom Zentrum zur Randzone erklärt werden. Der Fettgehalt in der Trockenmasse (TM) nahm vom 3. bis zum 12. Monate signifikant um 19 g/kg TM ab, was die Folge des oben beschriebenen Fettschwitzens war. Der Proteingehalt, bezogen auf die Trockenmasse, blieb praktisch stabil.

Wasserlösliche Mineralstoffe

In **Tabelle 4** sind für Mineralstoffe, die am Geschmack von Emmentaler beteiligt sind (28,40), die Mengen angegeben, die mit Wasser aus den Käseproben extrahierbar sind. Die Daten sind deshalb auf den Wassergehalt der Käse bezogen.

Der deutlich tiefere Chloridgehalt nach drei Monaten kann mit der noch nicht vollständig abgeschlossenen Salzdifffusion erklärt werden. Der Anstieg von wasserlöslichem Magnesium, Kalzium und Phosphat mit zunehmender Reifung weist noch auf einen anderen Effekt hin, der offensichtlich insbesondere die mehrwertigen Ionen betrifft. Ihre Mobilität erhöht sich möglicherweise, weil im Zuge der Proteolyse Peptide und Aminosäuren entstehen (siehe **Tabelle 5**), die

Tabelle 4 Veränderungen von wasserlöslichen Mineralstoffen im Laufe der Reifung von in Folien verpacktem Emmentaler Käse

Parameter		Alter in Monaten							
		3		6		9		12	
		ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc
Natrium	x	400		360		377		389	
(mmol/kg Wasser)	s _x	51		27		27		62	
Kalium	x	59		47		56		61	
(mmol/kg Wasser)	s _x	5		4		8		3	
Magnesium	x	50		42		67		84	
(mmol/kg Wasser)	s _x	5		5		13		3	
Kalzium	x	296		297		471		523	
(mmol/kg Wasser)	s _x	38		25		34		31	
Chlorid	x	188		205		225		290	
(mmol/kg Wasser)	s _x	26		19		29		57	
Phosphat	x	199		267		262		274	
(mmol/kg Wasser)	s _x	26		26		11		12	

Legende: siehe **Tabelle 1**.

wasserlöslich sind und dadurch diese Ionen in die wässrige Phase transportieren, woraus eine Verstärkung des Geschmacks resultieren würde.

Organische Säuren

Flüchtige Fettsäuren (C1 bis C6) wurden ab dem sechsten Monat in deutlich geringerem Masse gebildet (**Abb. 1**).

Die Gehalte an Ameisen- und Propionsäure unterschieden sich hochsignifikant zwischen den beiden Varianten (**Tabelle 2**). Durch den Einsatz von *L. casei* subsp. *casei* wurden signifikant mehr Ameisensäure und signifikant weniger Propionsäure produziert. Diese Säure wies die höchsten Konzentrationen der untersuchten flüchtigen Fettsäuren auf und wirkte sich deshalb auch auf die Summe der flüchtigen Fettsäuren aus. Dagegen zeigten die Gehalte an Buttersäure keinen Unterschied zwischen den Varianten mit und ohne *L. casei* subsp. *casei*-Zusatz, da diese Säure vorwiegend nach einer Fettsäurespaltung (Lipolyse) oder einer Buttersäuregärung auftritt. Die Konzentration an Propionsäure (**Tabelle 2**) in den mit *L. casei* subsp. *casei* hergestellten Käsen ist signifikant um 30 bis 40% geringer als in den Kontrollkäsen. Diese, durch den Zusatz von fakultativ heterofermentativen Laktobazillen verursachte Hemmung der Propionsäuregärung scheint jedoch nicht durch die Anzahl der Propionsäurebakterien, die sich nicht wesentlich von den beiden Varianten unterscheiden, verursacht worden zu sein. Die Hemmung auf das Wachstum der Propionsäurebakterien ist zwischen dem ersten und zweiten Monat ausgeprägter (13), währenddem die Konzentration der Propionsäurebakterien in den Kontrollkäsen um das 3- bis 10fache höher sein kann als in den Käsen mit Zusatz der fakultativ heterofermentativen Laktobazillen. Die Hemmung des Wachstums der Propionsäurebakterien lässt sich auf eine längere Latenzzeit zurückzuführen. Am Ende der Reifung ist die Keimzahlzählung nicht empfindlich genug, um einen Unterschied

zwischen Kontroll- und Versuchskäse feststellen zu können. Dieser Unterschied ist jedoch aus dem Propion- und Milchsäuregehalt ersichtlich. Die Propionsäurebakterien verfügen für ihr Wachstum über genügend hohe Konzentrationen an Milchsäure. Die Hemmung ihres Wachstums durch die fakultativ heterofermentativen Laktobazillen kann deshalb nicht durch eine Konkurrenz mit der Zitronensäure erklärt werden. Sie lässt sich nur im Käse oder Käsesaft, aber nicht in den üblichen Nährböden beobachten (13).

Die Konzentration an Essigsäure (**Tabelle 2**) ist in den Käsen mit Zusatz von *L. casei* subsp. *casei* signifikant zu hoch gegenüber derjenigen an Propionsäure (3 Milchsäure = 2 Propion- + 1 Essigsäure + 1 Kohlendioxid + 1 Wasser; Gleichung 2). Dies lässt sich durch die Bildung von Essigsäure aus Zitronensäure erklären (siehe Gleichung 1). Die Vergärung von Zitronensäure ist auch noch aus der erhöhten Bildung von Ameisensäure ersichtlich, auch wenn die Bildung der letzteren Säure nicht stöchiometrisch aus der verbrauchten Zitronensäure abgeleitet werden kann (zu geringe Bildung der Ameisensäure). Das fortwährende Verschwinden von Ameisensäure geht mit der Bildung der Ester einher, wie dies im nachfolgenden Artikel (18) beschrieben wird.

Der Abbau der Milchsäure (**Tabelle 2**) erfolgte in Käsen ohne *L. casei* subsp. *casei*-Zusatz hochsignifikant schneller. So konnten bereits nach 6 Monaten keine nennenswerten Mengen an Milchsäure mehr nachgewiesen werden. Bei den Käsen mit *L. casei* subsp. *casei* nahm der Milchsäuregehalt nach Abschluss der Propionsäuregärung nur noch geringfügig ab, was gleichbedeutend ist mit der Feststellung, dass keine Nachgärung erfolgte.

In den 9- und 12- monatigen Käsen mit *L. casei* subsp. *casei*-Zusatz wird weniger Bernsteinsäure gebildet als in den Kontrollkäsen (**Tabelle 2**). Bernsteinsäure ist ein Stoffwechselprodukt der Propionsäurebakterien aus der Asparaginsäure. Dementsprechend war der Asparaginsäuregehalt in diesen Käsen höher (siehe **Tabelle 5**). Der niedrigere Bernsteinsäuregehalt kann deshalb

Tabelle 5 Veränderungen der freien Aminosäuren im Laufe der Reifung von in Folien verpacktem Emmentaler Käse

Parameter		Alter in Monaten							
		3		6		9		12	
		ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc
Phosphoserin	<i>x</i>	<0.03		<0.04		0.08		0.20	
(g/kg)	<i>s_x</i>					0.09		0.06	
Asparaginsäure	<i>x</i>	<0.01		<0.01		0.12		0.02**	
(g/kg)	<i>s_x</i>					0.01		0.04	
Glutaminsäure	<i>x</i>	3.50		5.30		6.43		7.66	
(g/kg)	<i>s_x</i>	1.00		1.00		0.93		0.99	
Asparagin	<i>x</i>	0.11	0.37**	0.09	0.30**	0.37	1.22*	0.12	0.40**
(g/kg)	<i>s_x</i>	0.09	0.07	0.07	0.04	0.33	0.39	0.09	0.10
Serin	<i>x</i>	0.33		0.60		0.83		1.06	
(g/kg)	<i>s_x</i>	0.11		0.13		0.14		0.17	
Glutamin	<i>x</i>	0.35		0.46		0.52		0.59	
(g/kg)	<i>s_x</i>	0.16		0.16		0.13		0.15	
Histidin	<i>x</i>	0.47		0.65		0.91		1.14	
(g/kg)	<i>s_x</i>	0.22		0.25		0.27		0.36	
Glycin	<i>x</i>	0.35		0.55		0.68		0.82	
(g/kg)	<i>s_x</i>	0.14		0.13		0.12		0.13	
Threonin	<i>x</i>	0.52		0.84		1.08		1.34	
(g/kg)	<i>s_x</i>	0.15		0.15		0.17		0.20	
Citrullin	<i>x</i>	0.41	0.75*	0.63	1.14**	0.82	1.43***	1.06	1.70**
(g/kg)	<i>s_x</i>	0.18	0.11	0.18	0.08	0.14	0.07	0.19	0.20
Alanin	<i>x</i>	0.51		0.76		0.96		1.11	
(g/kg)	<i>s_x</i>	0.11		0.12		0.14		0.17	
Arginin	<i>x</i>	0.20		0.17		0.12		0.10	
(g/kg)	<i>s_x</i>	0.24		0.23		0.13		0.13	
γ-Aminobuttersäure	<i>x</i>	<0.02		<0.03		0.10		0.10	
(g/kg)	<i>s_x</i>					0.10		0.15	
Tyrosin	<i>x</i>	0.53		0.71		0.69		1.16*	
(g/kg)	<i>s_x</i>	0.16		0.20		0.26		0.19	
α-Aminobuttersäure	<i>x</i>	<0.04		0.06		0.06		0.06	
(g/kg)	<i>s_x</i>			0.10		0.04		0.05	
Valin	<i>x</i>	1.42		2.17		2.66		3.17	
(g/kg)	<i>s_x</i>	0.37		0.35		0.28		0.36	
Methionin	<i>x</i>	0.44		0.66		0.78		0.95	
(g/kg)	<i>s_x</i>	0.11		0.10		0.08		0.11	
Tryptophan	<i>x</i>	0.08		0.14		0.16		0.21	
(g/kg)	<i>s_x</i>	0.02		0.03		0.03		0.04	
Isoleucin	<i>x</i>	0.57		1.01		1.40		1.81	
(g/kg)	<i>s_x</i>	0.23		0.33		0.36		0.48	
Phenylalanin	<i>x</i>	1.26		1.77		2.17		2.52	
(g/kg)	<i>s_x</i>	0.22		0.20		0.21		0.29	
Ornithin	<i>x</i>	0.53		0.60		0.90		0.46*	
(g/kg)	<i>s_x</i>	0.23		0.34		0.25		0.22	
Leucin	<i>x</i>	2.60		3.48		4.04		4.55	
(g/kg)	<i>s_x</i>	0.49		0.40		0.37		0.44	
Lysin	<i>x</i>	1.83		3.00		3.79		4.48	
(g/kg)	<i>s_x</i>	0.48		0.58		0.73		0.76	
Prolin	<i>x</i>	1.39		2.24		3.11		3.89	
(g/kg)	<i>s_x</i>	0.45		0.51		0.58		0.81	
Summe FAS	<i>x</i>	17.8		26.3		33.5		39.2	
(g/kg)	<i>s_x</i>	4.8		4.9		5.2		5.8	

Legende: siehe **Tabelle 1**.

FAS=Freie Aminosäuren.

mit der Hemmung des Wachstums der Propion- säurebakterien erklärt werden.

Abbauprodukte der Proteolyse

Während der Proteolyse entstehen aus dem Protein Peptide, freie Aminosäuren, biogene Amine und Ammonium. Als weitere Parameter zur Charakterisierung der Proteolyse können der WLN, der NPN sowie der p-Benzochinon-, OPA- und Cadmium-Ninhydrin-Wert herbeigezogen werden. Daten zu den Peptiden

werden separat veröffentlicht [Teil IV, in Vorbereitung].

WLN, NPN, Ammonium, p-Benzochinon-, OPA- und Cadmium-Ninhydrin-Wert nahmen während der Käsureifung gleichförmig zu und zeigten zwischen den beiden Varianten keine signifikanten Unterschiede (**Tabelle 6**). Die Differenz zwischen dem WLN- und NPN-Wert ist ein Mass für die Konzentration an grossen Peptiden. Diese Messgrösse stieg bis zum 6. Monat an und nahm danach kontinuierlich wieder ab.

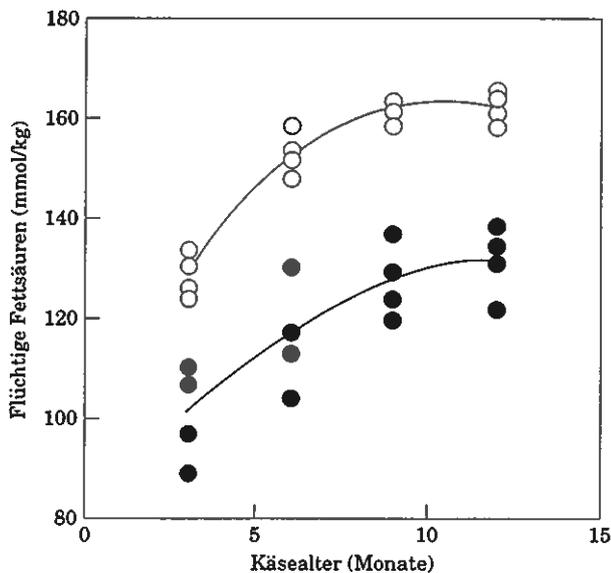


Abb. 1 Zunahme der Summe der flüchtigen Fettsäuren während der Käsereifung (● mit, ○ ohne *L. casei* subsp. *casei*). Die Kurven wurden durch die Spline Function of Scygraph berechnet (39)

Die Konzentration der meisten freien Aminosäuren unterscheidet sich zwischen den beiden Varianten nicht (Tabelle 5). Nur der Gehalt an Asparagin und Citrullin war in Käsen mit *L. casei* subsp. *casei* in allen Altersstufen signifikant höher, derjenige an Ornithin hingegen war im Alter von 9 und 12 Monaten signifikant tiefer.

Glutaminsäure ist in der höchsten Konzentration vorhanden, gefolgt von Leucin und Lysin sowie Prolin und Valin, was mit den Untersuchungen an schweizerischen Hart- und Halbhartkäsen übereinstimmt (41, 42).

Aufgrund dieser Daten lässt sich die Bildung und der Abbau der freien Aminosäuren analysieren. Im Alter von 12 Monaten sind 20% des Stickstoffs als NPN vorhanden. Dies entspricht etwa 60 g Protein/kg Käse. Wenn der Gehalt der verschiedenen Aminosäuren in den Kaseinen in Betracht gezogen wird, sollte die gesamte Hydrolyse von 60 g Protein eine Lysinkonzentration in der Größenordnung von 30 mMol/kg (4.9 g/kg) Käse liefern, was dem analytisch beobachteten Wert von 32 mMol/kg (4.5 g/kg) sehr nahekommt. Aufgrund dieser auf einer angenäherten Berechnung beruhenden Beobachtung kann festgehalten werden, dass das Lysin im Laufe der Käsereifung nicht oder nur geringfügig umgewandelt wurde.

Stöchiometrisch gesehen geht der Abbau von Arginin (12.4 mMol/kg) mit der Summe von Citrullin und Ornithin (13.0 mMol/kg) einher. Der Zusatz von *L. casei* subsp. *casei* erhöht die Konzentration an Citrullin und vermindert deswegen diejenige an Ornithin. *L. casei* subsp. *casei* könnte dabei die für die Umwandlung von Citrullin verantwortlichen Mikroorganismen hemmen. Asparaginsäure wird zu mehr als 90% abgebaut. Eine solche Wirkung auf den Asparaginsäurestoffwechsel durch *Propionibacterium shermanii* wurde schon in Emmentaler Käse beobachtet. Die Hemmung dieser

Art durch *L. casei* oder *L. rhamnosus* verursachte ab dem ersten Monat eine Anreicherung von Asparaginsäure im Käsesaft (13). Dies ist auch aus dieser Arbeit für Asparagin ersichtlich. Diese beiden Beobachtungen deuten daraufhin, dass die Konzentration an Asparaginsäure (oder ihre Stoffwechselprodukte wie die Bernsteinsäure) als frühzeitige Indikatoren für das Wachstum der Propionsäurebakterien, d.h. der Nachgärung, gelten könnten.

Die Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Bestimmungsmethoden der Abbauprodukte der Proteolyse (kleine Peptide, freie Aminosäuren) ist sehr gut (Abb. 2). Der Korrelationskoeffizient zwischen den fünf Messgrößen NPN, Summe der freien Aminosäuren, p-Benzochinon-, OPA- und Cadmium-Ninhydrin-Wert liegt zwischen 0.973 und 0.992.

Unter den biogenen Aminen nahm im Laufe der Reifung nur das Tyramin deutlich zu (Tabelle 7), was jedoch bei Gruyère und Sbrinz nicht festgestellt werden konnte (43). Beim Tyramin konnten in allen Altersstufen signifikante Unterschiede zwischen den beiden Varianten festgestellt werden. Histamin erhöhte sich während der Lagerung leicht und erreichte nach 12 Monaten Medianwerte von rund 20 mg/kg. Putrescin, Cadaverin, Tryptamin und β -Phenylethylamin konnten nicht nachgewiesen werden.

Die unterschiedliche Bildung der biogenen Amine ist auf die Anwesenheit der mikrobiellen Flora zurückzuführen, wobei insbesondere Enterokokken zu beachten sind (44, 45). Die Käse mit *L. casei* subsp. *casei* wiesen alle tiefere Werte für die Enterokokken auf (Tabelle 1) und zeigten demzufolge auch niedrigere Gehalte an Tyramin (Tabelle 7). Die Anwesenheit eines hohen Gehaltes an Enterokokken führte in den Käsen ohne *L. casei* subsp. *casei*-Zusatz zu hohen Konzentrationen an Tyramin (Abb. 3), was auch Petridis und Steinhart (46) in ihren Untersuchungen an Schweizer Käse bestätigten. Von diesen Autoren wurde auch eine Korrelation zwischen dem Gehalt an Histamin und dem Vorkommen von *L. casei* subsp. *casei* festgestellt, was im vorliegenden Fall nicht zutrifft.

Rheologische Messgrößen

Die rheologischen Messgrößen Eindringtiefe und Deformation beim Bruch nahmen während der Käsereifung ab, wobei die Käse im Alter von 6 und 9 Monaten praktisch die gleichen Werte aufwiesen. Dagegen zeigten die Kraft beim Bruch und bei 33% Deformation ein anderes Verhalten (Tabelle 8). Die Werte nahmen vom 3. bis zum 6. Monate zu und bis zum 9. Monate ab, um danach signifikant wieder zuzunehmen. Abb. 4 zeigt den Verlauf der Einzelwerte für die Kraft bei 33% Deformation. Die für den 3. und 6. Monat erhaltenen Resultate stimmen mit denjenigen von Eberhard (47) überein, der an Emmentaler Käse im Alter von 1-150 Tagen den Verlauf von rheologischen Parametern verfolgte.

Zwischen den beiden Varianten unterschieden sich nur die Deformation beim Bruch im Alter von 3 Monaten und die Kraft bei 33% Deformation im Alter von 9

Tabelle 6 Veränderungen einiger Proteolyse-Messgrößen im Laufe der Reifung von in Folien verpacktem Emmentaler Käse

Parameter		Alter in Monaten							
		3		6		9		12	
		ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc
WLN	x	20.2		24.1		26.5		28.0	
(% von TN)	s_x	1.0		0.8		1.1		0.9	
NPN	x	12.1		15.4		18.2		20.9	
(% von TN)	s_x	1.6		1.5		1.9		1.9	
WLN-NPN	x	8.1		8.6		8.3		7.1	
(% von TN)	s_x	0.9		1.2		1.3		1.6	
Ammonium	x	37.3		54.3		65.5		79.1	
(mmol/kg)	s_x	7.5		10.4		12.7		13.8	
p-Benz.-Wert	x	226		321		370		426	
(mmol/kg)	s_x	43		56		55		58	
OPA-Wert	x	184		258		311		352	
(mmol/kg)	s_x	35		37		38		41	
CD-Ninh.-Wert	x	97		138		174		203	
(mmol AS/kg)	s_x	32		31		36		34	

Legende: siehe **Tabelle 1**.

TN=Total-Stickstoff; WLN=wasserlöslicher Stickstoff; NPN=Nicht-Protein-Stickstoff; p-Benz.-Wert=p-Benzochinon-Wert; OPA-Wert=o-Phthalaldehyd-Wert; Cd-Ninh.-Wert=Cadmium-Ninhydrin-Wert; AS=Aminosäuren.

Monaten signifikant (**Tabelle 8**). Bis zum Alter von 12 Monaten waren in den Käsen mit *L. casei* subsp. *casei* die Werte bei der Deformation beim Bruch tendenziell tiefer und bei der Kraft bei 33% Deformation tendenziell höher.

Sensorische Eigenschaften, Lochung, Teigeigenschaften und Lagerfähigkeit

Kein signifikanter Unterschied konnte in der Geruchs- und Geschmacksintensität zwischen den Käsen mit und ohne *L. casei* subsp. *casei* festgestellt werden. Diese Intensitäten waren besonders stark am Ende der Reifungsperiode (**Tabelle 9**). Die anderen Grund-

geschmacksnoten wie süß, bitter, salzig und sauer wiesen keine klare Tendenz auf.

Die weiteren Qualitätsmerkmale (**Tabelle 10**) wurden von Käsefachexperten bestimmt. Einzig die Qualitätsnote 'Lochung' war bei den Käsen, die mit dem Zusatz von *L. casei* subsp. *casei* hergestellt wurden, bis zum Alter von 9 Monaten signifikant höher, was sich teilweise auch auf die Gesamtnote niederschlug. Dieser positive Einfluss auf die Lochbildung ist der Hauptgrund, weshalb sich der Einsatz von Zusatzkulturen mit *L. casei* subsp. *casei* unter den Emmentaler Käseereien innert ungewöhnlich kurzer Zeit sehr weit verbreitet hat. Er ist auf die bessere Kontrolle der Nachgärung der Milchsäure zurückzuführen, wodurch weniger Propionsäure und Kohlendioxid gebildet werden, d.h. eine nicht so ausgeprägte Lochbildung auftritt (**Tabelle 2**).

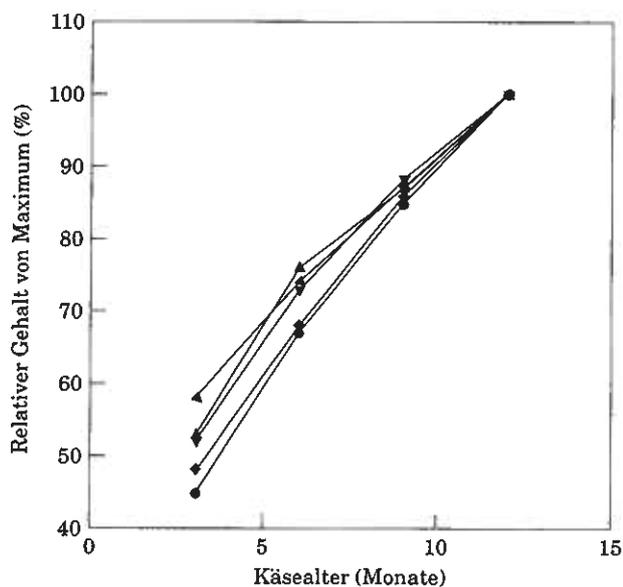


Abb. 2 Relativer Gehalt an Proteolyseabbauprodukten von in Folien verpacktem Emmentaler Käse im Alter von 3 bis 12 Monaten. Legende: (▲) = NPN; (▼) = OPA-wert; (▲) = p-Benzochinon-Wert; (●) = Summe der freien Aminosäuren; (◆) = Cadmium-Ninhydrin-Wert

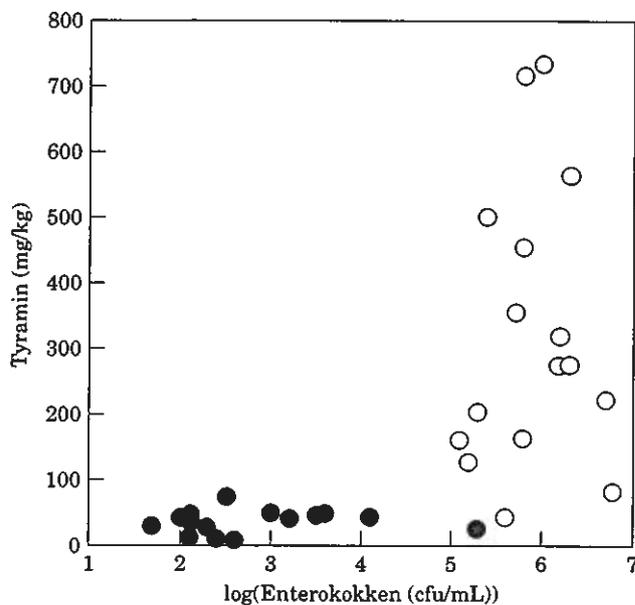


Abb. 3 Zusammenhang zwischen der Konzentration an Enterokokken und dem Gehalt an Tyramin (● mit, ○ ohne *L. casei* subsp. *casei*)

Tabelle 7 Biogene Amine im Laufe der Reifung von in Folien verpacktem Emmentaler Käse (Median, mg/kg; mit Ausnahme des Tyramins)

Parameter	Alter in Monaten								
	3		6		9		12		
	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	
Putrescin	m	nn		nn		nn		nn	
Histamin	m	nn		3		15		16	
Cadaverin	m	nn		nn		nn		nn	
Tryptamin	m	nn		nn		nn		nn	
β -PEA	m	nn		nn		nn		nn	
Tyramin	\bar{x}	128	17*	393	47*	294	34*	391	51*
	s_x	101	8	253	5	189	11	220	14

Legende: siehe **Tabelle 1**.

β -PEA = β -Phenylethylamin.

nn = nicht nachweisbar.

m = Median.

Tabelle 8 Veränderungen der rheologischen Messgrößen im Laufe der Reifung von in Folien verpacktem Emmentaler Käse

Parameter	Alter in Monaten							
	3		6		9		12	
	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc
Eindringtiefe (mm)	\bar{x}	7.6		5.4		5.4		2.8
	s_x	1.1		1.0		0.9		0.6
Deform. b. Bruch (%)	\bar{x}	71.1	65.6*	55.2		55.0		48.0
	s_x	3.2	1.5	4.4		4.4		4.5
Kraft beim Bruch (N)	\bar{x}	38.5		45.2		27.2		32.3
	s_x	6.7		7.5		3.1		6.1
Kraft bei 33% D. (N)	\bar{x}	8.9		23		11.8	15.8*	22.5
	s_x	1.7		5.1		2.5	1.2	6.3

Legende: siehe **Tabelle 1**.

D. = Deformation.

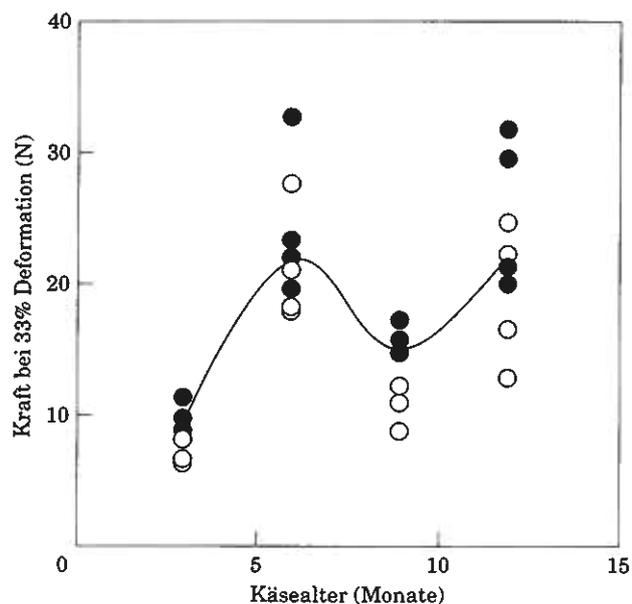


Abb. 4 Kraft bei 33% Deformation von in Folien verpacktem Emmentaler Käse im Alter von 3 bis 12 Monaten (● mit, ○ ohne *L. casei* subsp. *casei*). Die Kurven wurden durch die Spline Function of Scygraph berechnet (39)

Die deutlich schlechtere Bewertung des Parameters Lochung nach 12 Monaten ist auf das Zusammenfallen der Löcher zurückzuführen, was typisch für länger gereifte Emmentaler Käse ist. Durch die Bildung von Schimmel auf einigen in Folien verpackten Käsen verlor das Kriterium der Lagerfähigkeit nach 9 Monaten seine Berechtigung.

Die zunehmende Reifung führte logischerweise zu einer Zunahme des Reifegrades und der Teigfestigkeit oder -härte (**Tabelle 10**), was beides durch Proteinabbauprodukte, die sowohl geschmacksaktiv (**Tabelle 9**) als auch wasserbindend sind, erklärt werden kann. Der etwas festere Teig bei den neunmonatigen Käsen mit Zusatz von *L. casei* subsp. *casei* könnte eventuell mit einem leicht verstärkten Proteinabbau erklärt werden, ohne dass es jedoch bei den verschiedenen Gesamtkriterien der Proteolyse (**Tabelle 6**) ersichtlich ist. Der schrittweise Abbau des Proteingerüsts führte folgerichtig zu einer Abnahme der Teiglänge. Der Reifegrad zeigte nach 9 und 12 Monaten signifikant höhere Werte (**Tabelle 10**), allerdings muss berücksichtigt werden, dass die Beurteiler das Käsealter kannten.

Tabelle 9 Veränderungen der sensorischen Eigenschaften im Laufe der Reifung von in Folien verpacktem Emmentaler Käse

Parameter		Alter in Monaten							
		3		6		9		12	
		ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc
Geruchsintensität	<i>x</i>	3.6		3.5		3.6		3.9	
(Note)	<i>s_x</i>	0.3		0.3		0.2		0.4	
Aromaintensität	<i>x</i>	3.2		3.2		3.4		4.0	
(Note)	<i>s_x</i>	0.3		0.2		0.2		0.4	
Süß	<i>x</i>	3.1		2.7		2.8		2.9	
(Note)	<i>s_x</i>	0.3		0.6		0.1		0.2	
Bitter	<i>x</i>	1.8		2.2		1.7		2.2	
(Note)	<i>s_x</i>	0.3		0.7		0.3		0.3	
Salzig	<i>x</i>	2.4		2.6		2.5		2.7	
(Note)	<i>s_x</i>	0.1		0.3		0.2		0.3	
Sauer	<i>x</i>	2.5		2.7		2.6		2.5	
(Note)	<i>s_x</i>	0.1		0.3		0.3		0.3	

Legende: siehe **Tabelle 1**.

Tabelle 10 Veränderungen einiger Qualitätsmerkmale im Laufe der Reifung von in Folien verpacktem Emmentaler Käse

Parameter		Alter in Monaten							
		3		6		9		12	
		ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc	ohne Lc	mit Lc
Gesamtnote	<i>x</i>	4.9		4.9		4.2	4.9*	4.6	
(6-Punkt-Skala)	<i>s_x</i>	0.5		0.4		0.3	0.5	0.3	
Geschmacksnote	<i>x</i>	5.0		4.7		4.3		4.6	
(6-Punkt-Skala)	<i>s_x</i>	0.5		0.5		0.5		0.4	
Teignote	<i>x</i>	5.2		5.2		5.2		5.0	
(6-Punkt-Skala)	<i>s_x</i>	0.3		0.3		0.4		0.3	
Lochung	<i>x</i>	4.6	5.4*	4.4	5.2*	4.5	5.4*	3.7	
(6-Punkt-Skala)	<i>s_x</i>	0.4	0.4	0.6	0.2	0.6	0.4	0.8	
Lagerfähigkeit	<i>x</i>	2.9		2.9		2.9		3.0	
(3-Punkt-Skala)	<i>s_x</i>	0.3		0.3		0.1		0.0	
Teiglänge	<i>x</i>	5.9		5.1		4.6		4.4	
(Skala von 2 bis 8)	<i>s_x</i>	1.0		0.8		0.7		0.6	
Teigfestigkeit	<i>x</i>	4.7		4.8		4.7	5.5*	5.2	
(Skala von 2 bis 8)	<i>s_x</i>	0.6		0.5		0.5	0.3	0.3	
Reifegrad	<i>x</i>	4.7		5.4		5.7		6.3	
(Skala von 2 bis 8)	<i>s_x</i>	1.1		0.6		1.0		0.8	

Legende: siehe **Tabelle 1**.

6-Punkt-Skala=6 beste, 1 schlechteste Note.

3-Punkt-Skala=3 beste, 1 schlechteste Note.

Skala von 2 (zu tief) bis 8 (zu hoch), 5=normal.

Literatur

- 1 STEFFEN, C., RENTSCH, F., NICK, B., STEIGER, G., SIEBER, R., GLÄTTLI, H. UND EBERHARD, P. Reifungsverlauf in qualitativ gutem Gruyère. *Landwirtschaft Schweiz*, 5, 209-215 (1992)
- 2 SOLLBERGER, H., GLÄTTLI, H., NICK, B., RÜEGG, M., SIEBER, R. UND STEIGER, G. Untersuchungen über den Reifungsverlauf guter Sbrinkkäse. *Schweizerische Milch-wirtschaftliche Forschung*, 20, 63-69 (1991)
- 3 STEFFEN, C., SCHÄR, H., EBERHARD, P., GLÄTTLI, H., NICK, B., RENTSCH, F., STEIGER, G. UND SIEBER, R. Untersuchungen über den Reifungsverlauf von qualitativ gutem Käse: Appenzeller. *Schweizerische Milchwirtschaftliche Forschung*, 21, 39-45 (1993)
- 4 STEFFEN, C., SCHÄR, H., EBERHARD, P., GLÄTTLI, H., NICK, B., RENTSCH, F., STEIGER, G. UND SIEBER, R. Untersuchungen über den Reifungsverlauf von qualitativ gutem Käse: Tilsiter aus Rohmilch. *Schweizerische Milch-wirtschaftliche Forschung*, 21, 46-51 (1993)
- 5 SCHÄR, H., GLÄTTLI, H., MOOR, U., NICK, B., SIEBER, R. UND STEIGER, G. Untersuchungen über den Reifungsverlauf von qualitativ gutem Walliser Raclettekäse. *Schweizerische Milchwirtschaftliche Forschung*, 21, 52-57 (1992)
- 6 BOSSET, J. O., COLLOMB, M., EBERHARD, P., GRAND, M., LAVANCHY, P., KAUFMANN, E. ET KREUTER, U. Application de méthodes d'analyse statistique univariée et multivariée à l'étude parallèle de critères chimiques, biochimiques, rhéologiques, microbiologiques et sensoriels du fromage d'Emmental au moment de sa taxation. Partie I: Analyse de quelques profils de distribution. *Chimia*, 46, 406-415 (1992)
- 7 BOSSET, J. O., COLLOMB, M., EBERHARD, P., GRAND, M., LAVANCHY, P., KAUFMANN, E. ET KREUTER, U. Application de méthodes d'analyse statistique univariée et multivariée à l'étude parallèle de critères chimiques, biochimiques, rhéologiques, microbiologiques et sensoriels du fromage d'Emmental au moment de sa taxation. Partie II: Analyse de corrélation. *Lebensmittel-Technologie*, 26, 111-116 (1993)

- 8 BOSSET, J. O., COLLOMB, M., EBERHARD, P., GRAND, M., LAVANCHY, P., KAUFMANN, E. ET KREUTER, U. Application de méthodes d'analyse statistique univariée et multivariée à l'étude parallèle de critères chimiques, biochimiques, rhéologiques, microbiologiques et sensoriels du fromage d'Emmentaler au moment de sa taxation. Partie III: Analyse de régression linéaire multiple et analyse discriminante. *Lebensmittel-Technologie*, **26**, 151–159 (1993)
- 9 SIEBER, R., COLLOMB, M., LAVANCHY, P. UND STEIGER, G. Beitrag zur Kenntnis der Zusammensetzung schweizerischer konsumreifer Emmentaler, Greyzer, Sbrinz, Appenzeller und Tilsiter. *Schweizerische Milchwirtschaftliche Forschung*, **17**, 9–16 (1988)
- 10 STEFFEN, C. Vergleichende Untersuchungen in Emmentalerkäse mit und ohne Nachgärung. VI. Schlussfolgerungen. *Schweizerische Milchwirtschaftliche Forschung*, **8**, 44–48 (1979)
- 11 STEFFEN, C. UND NICK, B. Gärungsverlauf in qualitativ guten und nachgärenden Emmentalern. *Schweizerische Milchwirtschaftliche Forschung*, **10**, 23–35 (1981)
- 12 ANON. *Bergey's manual of systematics bacteriology*, **2**, 1212 (1986)
- 13 JIMENO, J., LAZARO, M. J. AND SOLLBERGER, H. Antagonistic interactions between propionic acid bacteria and non-starter lactic acid bacteria. *Lait*, **75**, 401–413 (1995)
- 14 JIMENO, J., LAZARO, M. J. AND SOLLBERGER, H. Inhibition of Swiss-type cheese microflora by facultatively heterofermentative lactobacilli. *Proceedings of the 2nd plenary meeting of COST 95 action FLORA*, 137–147 (1995)
- 15 JORDAN, K. N. AND COGAN, T. M. Identification and growth of non-starter lactic acid bacteria in Irish Cheddar cheese. *Irish Journal of Agriculture and Food Research*, **32**, 47–55 (1993)
- 16 TRÉPANIÉ, G., EL ABOUDI, M., LEE, B. H. AND SIMARD, R. E. Accelerated maturation of Cheddar cheese: microbiology of cheeses supplemented with *Lactobacillus casei* subsp. *casei* L2A. *Journal of Food Science*, **57**, 345–349 (1992)
- 17 VESCOVO, M., TORRIANI, S., SCOLARI, G. AND DICKS, L. M. T. *Lactobacillus casei* and related species: a review. *Annali Microbiologi Enzimologi*, **45** 51–83 (1995)
- 18 BOSSET, J. O., BÜTIKOFER, U., GAUCH, R. UND SIEBER, R. Reifungsverlauf von in Folien verpackten Emmentaler Käsen mit und ohne Zusatz von *Lactobacillus casei* spp. *casei*. II. Untersuchung einiger flüchtiger, neutraler Verbindungen mit Hilfe einer GC-dynamischen Dampfdruckanalyse. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, im Druck
- 19 RYCHLICK, M., WARMKE, R. AND GROSCH, W. Ripening of Emmentaler cheese wrapped in foil with and without addition of *Lactobacillus casei* spp. *casei*. III. Analysis of character impact flavour compounds. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, im Druck
- 20 MOSSEL, D. A. A. ET AL. Streptokokken der Lancefield Gruppe D in Lebensmitteln und Trinkwasser. *Archiv für Lebensmittelhygiene*, **29**, 121–127 (1978)
- 21 ANON. Zählung von Propionsäurebakterien in Milch, Milchprodukten und Hilfsstoffen. FAM-Methode ME 03001O.530 (1995)
- 22 ISOLINI, D., GRAND, M. UND GLÄTTLI, H. Selektivmedien zum Nachweis von obligat und fakultativ heterofermentativen Laktobazillen. *Schweizerische Milchwirtschaftliche Forschung*, **19**, 57–59 (1990)
- 23 ANON. Cheese and processed cheese products. Determination of total solids contents. *IDF Standard 4A* (1982)
- 24 ANON. Cheese. Determination of fat content. Van Gulik method. ISO 3433 (1975)
- 25 COLLOMB, M., SPAHNI-REY, M. ET STEIGER, G. Dosage de la teneur en azote selon Kjeldahl de produits laitiers et de certaines de leurs fractions azotées à l'aide d'un système automatisé. *Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène*, **81**, 499–509 (1990)
- 26 ANON. Cheese and processed cheese products. Determination of chloride content. Potentiometric titration method. *IDF Standard 88A* (1988)
- 27 ANON. Kupfer, Gehaltsbestimmung in Käse mit Flammen-AAS. FAM Methode ME00401O.620 (1995)
- 28 WARMKE, R., BELITZ, H.-D. AND GROSCH, W. Evaluation of taste compounds of Swiss cheese (Emmentaler). *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung*, **203**, 230–235 (1996)
- 29 BADERTSCHER, R., LINIGER, A. UND STEIGER, G. Bestimmung der flüchtigen Fettsäuren in Käse aus dem Wasserdampfdestillat mit "Headspace-GC/FID". *FAM Information*, **272** (1993)
- 30 ANON. *Methoden der biochemischen Analytik und Lebensmittelanalytik*. Boehringer GmbH, Mannheim (1986)
- 31 MROWETZ, M. Kolorimetrische Bestimmung des Ammoniumgehaltes von Käse. *Milchwissenschaft*, **34**, 593–597 (1979)
- 32 LAVANCHY, P. ET BÜHLMANN, C. Valeurs normales de certains paramètres importants du métabolisme pour des fromages fabriqués en Suisse. *Schweizerische Milchwirtschaftliche Forschung*, **12**, 3–12 (1983)
- 33 BÜTIKOFER, U., FUCHS, D., HURNI, D. UND BOSSET, J. O. Beitrag zur Bestimmung biogener Amine in Käse. Vergleich einer verbesserten HPLC- mit einer IEC-Methode und Anwendung bei verschiedenen Käsesorten. *Mitteilungen auf dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene*, **81**, 120–133 (1990)
- 34 LORENTZ, K. Über eine neue photometrische Aminosäurebestimmung mit p-Benzochinon in biologischen Flüssigkeiten. *Zeitschrift für analytische Chemie*, **269**, 182–187 (1974)
- 35 FRISTER, H., MEISEL, H. UND SCHLIMME, E. Photometrische Messung des Proteolyseverlaufs in Schnittkäse mit Hilfe der modifizierten OPA-Methode. *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte*, **41**, 237–242 (1989)
- 36 BAER, A., RYBA, I., MEYER, J. AND BÜTIKOFER, U. Microplate assay of free amino acids in Swiss cheese. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*, **29**, 58–62 (1996)
- 37 EBERHARD, P. P. Rheologische Eigenschaften ausgewählter Käsesorten, Dissertation Nr. 7838, ETH Zürich (1985)
- 38 BÉRODIER, F., LAVANCHY, P., ZANNONI, M., CASALS, J., HERRERO, L. ET ADAMO, C. *Guide d'évaluation olfactive des fromages à pâte dure et Semi-dure*. G.E.CO-TE.F.T., Poligny (1996)
- 39 SYSTAT. *Systat for Windows: Statistics*, Version 5.0 Edition. Evanston, IL: SYSTAT Inc. (1992)
- 40 PREININGER, M., WARMKE, R. AND GROSCH, W. Identification of the character impact flavour compounds of Swiss cheese by sensory studies of models. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung*, **202**, 30–34 (1996)
- 41 LAVANCHY, P. UND SIEBER, R. Proteolyse in verschiedenen Hart- und Halbhartkäsen: 1. Freie Aminosäuren. *Schweizerische Milchwirtschaftliche Forschung*, **22**, 59–64 (1993)
- 42 BÜTIKOFER, U. AND FUCHS, D. Development of free amino acids in Appenzeller, Emmentaler, Gruyère, Raclette, Sbrinz and Tilsiter cheese. *Lait* (in press)
- 43 LAVANCHY, P. UND SIEBER, R. Proteolyse in verschiedenen Hart- und Halbhartkäsen: 2. Amine. *Schweizerische Milchwirtschaftliche Forschung*, **31**, 65–68 (1993)
- 44 JOOSTEN, H. M. L. J. Conditions allowing the formation of biogenic amines in cheese. 3. Factors influencing the amounts formed. *Netherlands Milk and Dairy Journal*, **41**, 329–357 (1988)
- 45 SIEBER, R. UND BILIC, N. Über die Bildung der biogenen Amine im Käse. *Schweizerische Milchwirtschaftliche Forschung*, **31**, 33–58 (1992)
- 46 PETRIDIS, K. D. AND STEINHART, H. Biogene Amine in der Hartkäseproduktion: 1. Einfluss Verschiedener Parameter auf den Amingehalt im Endprodukt am Beispiel von

Emmentaler Käse. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, **92**,
114–120 (1996)
47 EBERHARD, P. Rheologische Eigenschaften ausgewählter

Käsesorten. 1. Emmentalerkäse. *Schweizerische Milch-
wirtschaftliche Forschung*, **14**, 3–9 (2) (1985)