

Die gärungstechnische Rolle von Lactose, Glucose und Galactose in der Fabrikation von Emmentalerkäse

von Chr. Steffen, B. Nick und B. Blanc

(Aus der Eidg. Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, Liebefeld-Bern, Direktor: Prof. Dr. B. Blanc)

1. Einleitung

In mehreren Arbeiten [1, 6, 7] wird hervorgehoben, dass der zeitliche Verlauf des Lactoseabbaus in der Käseherstellung ein wichtiger, mitbestimmender Qualitätsfaktor ist. Trotzdem sind in der Literatur bisher wenig Angaben über die Geschwindigkeit der Lactosehydrolyse im Käse zu finden. Möglicherweise erlaubten einerseits die Analysemethoden keine ausgedehnten Untersuchungen während der Milchsäuregärung, andererseits wurde der Lactoseabbau indirekt über die Säureproduktion im Käse verfolgt.

Nach BERGLÖF [2] wird der Säuerungsverlauf im Käse durch den Lactosegehalt des Bruchkornes bestimmt. Bei der Cheddarherstellung kann die Lactosekonzentration im Bruchkorn durch den Fabrikationsprozess teilweise beeinflusst werden, weil eine Diffusion von Lactose aus der Molke in den Bruch in Abhängigkeit der Säurebildung erfolgt [4]. Einen Einfluss der Nachwärmtemperatur auf den Lactoseabbau stellten ALFREDSSON et al. [1] in schwedischen Käsesorten fest. Nach NAKANISHI et al. [6] wird die Lactose in Edamerkäsen bereits innerhalb der ersten Stunden durch die Milchsäurebakterien vollständig hydrolysiert.

Je nach Käsesorte wurde bisher der Zuckergehalt zu einem bestimmten Zeitpunkt des Reifungsprozesses ermittelt und meist als «Restzucker» bezeichnet. Diese Bezeichnung erfolgte zu Recht, denn nebst der Lactose wurden ebenfalls deren Monosaccharide Glucose und Galactose mitbestimmt. In 1 bis 4 Tage alten schwedischen Schnittkäsen wurden «Restzuckerkonzentrationen» von 0,1 bis 0,5% nachgewiesen [2]. RITTER et al. [7] haben über 2 000 Emmentalerkäseproben (24 oder 48 Stunden alt) analysiert und in 40% aller Proben eine positive Zuckerreaktion ermittelt. Höhere «Restzuckergehalte» korrelierten dabei meistens mit einem erhöhten pH-Wert. Ein im Optimalbereich liegender pH-Wert lässt jedoch nicht auf eine negative Zuckerreaktion schliessen.

Das Disaccharid Lactose wird in der Milchsäuregärung in einem ersten Reaktionsschritt durch die β -Galactosidase zu Glucose und Galactose hydrolysiert. Es können somit im Käse ausser der Lactose auch die beiden Monosaccharide als «Restzucker» vorhanden sein. In 1 bis 24 Monate alten Cheddarkäsen fanden HETTINGA et al. [5] keine Lactose. Der Glucosegehalt variierte von 16 bis 29 $\mu\text{Mol/g}$ und die Galactosekonzentration lag zwischen 13 und 24 $\mu\text{Mol/g}$. In jungen Emmentalerkäsen war der papierchromatographisch analysierte «Restzucker» meistens Galactose [7]. Nur ausnahmsweise konnten Lactose oder Glucose ermittelt werden. Eine Beziehung zwischen der Art des nachgewiesenen «Restzuckers» und den Milchsäurebakterienstämmen im Käse konnte nicht gefunden werden.

Mit Hilfe enzymatischer Methoden hat BERNER [3] die Lactose-, Glucose- und Galactosekonzentrationen in Camembertkäsen nach der Salzbehandlung über längere Zeit verfolgt. Die Untersuchungen zeigten, dass die erwähnten Metabolite während der Milchsäuregärung und der anschliessenden Schimmelreifung in den verschiedenen Zonen des Käses mit unterschiedlicher Geschwindigkeit abgebaut werden.

Zeitlich gestaffelte Lactatbestimmungen in reifenden Emmentalerkäsen haben gezeigt, dass die Milchsäuregärung nach 24 Stunden meistens nicht abgeschlossen ist und in extremen Fällen bis zum 30. Tag dauern kann [2]. Mit der vorliegenden Arbeit soll deshalb der Verlauf des Lactoseabbaus in Emmentalerkäse eingehend verfolgt werden.

2. Methoden

Die enzymatische Bestimmung von Lactose, Glucose, Galactose und Lactat erfolgte nach STEFFEN et al. [9].

3. Lactose-, Glucose-, Galactose- und Lactatnachweis in der Emmentalerkäseherstellung

3.1 Beeinflussung des Lactoseabbaues im Käse

Der Lactosegehalt im frischen (0-stündigen) Käse und der anschliessende Lactoseabbau durch die Milchsäurebakterien kann durch mehrere Faktoren beeinflusst werden. In der Emmentalerkäsefabrikation sind folgende Faktoren von zentraler Bedeutung:

- der Lactosegehalt der eingelieferten Milch
- der Wasserzusatz zur Kessimilch
- die Fabrikation (Synärese, Wasserzusatz zur Molke)
- die Säuerungsaktivität der Kulturen im Käse, die die Entsirung der Käsemasse auf der Presse beeinflusst

In verschiedenen Versuchen wurden in der Folge die wichtigsten der oben erwähnten Faktoren untersucht.

3.2 Untersuchung der Kessimilch

Zur Ermittlung der Lactose-, Glucose-, Galactose- und der Lactatkonzentrationen in der verarbeiteten Milch wurden während eines Jahres in 12 Käsereien jeden Monat 2 Kessimilchproben entnommen, sofort eingefroren und anschliessend analysiert.

In den untersuchten Kessimilchproben konnten nur Spuren (unter $1 \mu\text{Mol/ml}$) von Glucose, Galactose und Lactat nachgewiesen werden. Zu Beginn des Fabrikationsprozesses ist der nachgewiesene Zucker noch zu fast 100% Lactose. Die Lactosekonzentration der Kessimilch variiert in den geprüften Käsereien in einem ziemlich weiten Bereich von 4,21 bis 4,61% (Tab. 1). Es zeigt sich jedoch, dass die tiefen Lactosegehalte einiger Betriebe durch einen grösseren Wasserzusatz zur Milch bedingt sind. In Abzug des Wasserzusatzes lässt sich ein durchschnittlicher Lactosegehalt von 4,71% errechnen, der zwischen den einzelnen Betrieben von 4,58 bis 4,85 variiert.

Standardabweichung (s) und Variationskoeffizient (VK) sind in allen ausgewerteten Käsereien tief, besonders wenn berücksichtigt wird, dass der prozentuale Wasserzusatz innerhalb derselben Käserei Schwankungen aufwies. Der Lactosegehalt der Milch weist somit für die Fabrikation nur geringe Abweichungen vom Mittelwert auf. Jahreszeitliche Schwankungen im Lactosegehalt der Milch bestehen nicht. Es darf angenommen werden, dass die Differenzen im Lactosegehalt der Kessimilch einer Käserei weniger durch Unterschiede in der eingelieferten Milch, als durch unterschiedliche Wasserzusätze bedingt sind.

Tabelle 1: Lactosekonzentration der Kessimilch und errechneter Lactosegehalt der Milch vor dem Wasserzusatz in 12 Käsereien (N = 24 pro Käserei, Probeerhebung während eines Jahres)

Käserei Nr.	Lactosekonzentration in Kessimilch			Wasser-zusatz zur Kessimilch	Lactose-konz. vor Wasserzus.
	$\bar{x}$ %	s %	VK*		
1	4,61	0,094	2,0	5,0	4,85
2	4,46	0,088	1,9	5,1	4,70
3	4,55	0,080	1,8	2,5	4,67
4	4,51	0,112	2,5	5,1	4,75
5	4,45	0,102	2,3	3,8	4,63
6	4,51	0,095	2,1	5,1	4,61
7	4,21	0,131	3,1	8,9	4,58
8	4,48	0,110	2,5	6,7	4,80
9	4,24	0,079	1,9	8,7	4,64
10	4,46	0,094	2,1	6,8	4,79
11	4,22	0,089	2,1	10,6	4,72
12	4,46	0,114	2,6	5,8	4,73
ϕ	4,43	0,098	2,2	6,3	4,71

$$* VK = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$$

3.3 Untersuchungen vor und nach dem Fabrikationsprozess

Der Einfluss des Fabrikationsprozesses auf die Lactosehydrolyse im Kessi wurde an mehreren Tagen untersucht. Zu diesem Zweck wurden bei der Fabrikation Proben der Kessimilch und der entsprechenden 0-stündigen Käse (Probeentnahme nach ca. 5 Minuten pressen) erhoben. Die Fabrikation erfolgte nach dem betriebsüblichen Verfahren (Normalfabrikation). Diese Käse werden im weiteren als Normalkäse bezeichnet. Die Resultate der Lactose-, Glucose-, Galactose- und Lactatbestimmungen sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Lactose-, Glucose-, Galactose- und Lactatkonzentration in Kessimilch und in 0-stündigen Käseproben (N = 11)

Bestimmung	Kessimilch ($\mu\text{Mol/ml}$)		0-stündiger Käse ($\mu\text{Mol/g}$)	
	$\bar{x}$	VB	$\bar{x}$	VB
Lactose	115,2	112,3—123,3	53,0	43,3—61,5
Glucose	0,3		1,3	0,5—2,5
Galactose	0,7	0,5—1,3	4,3	1,8—7,6
Lactat	0,4	0,3—0,6	4,9	2,8—6,9

Mit dem Fabrikationsprozess ergibt sich eine Erhöhung der Trockenmasse. Die wässrige Phase, in der die Lactose und Metabolite der Milchsäuregärung gelöst sind, wird somit im Käse kleiner. Dies erklärt die nicht allein durch Gärungsaktivität bedingte geringere durchschnittliche Lactosekonzentration ($\bar{x}$) im frischen Käse im Vergleich zur Kessimilch.

Der Lactosegehalt im 0-stündigen Käse weist einen relativ grossen Variationsbereich (VB) auf. Die Schwankungsbreite kann teilweise auf den unterschiedlichen Molkengehalt im Käse (bedingt durch die kurze Presszeit) zurückgeführt werden. Es scheint jedoch, dass die Lactose während des Fabrikationsprozesses in unterschiedlichem Ausmass hydrolysiert wird.

Die durchschnittlichen Glucose-, Galactose- und Lactatkonzentrationen sind nach dem Fabrikationsprozess signifikant höher. Diese Tatsache beweist eine Stoffwechselaktivität der Milchsäurebakterien während der Fabrikation im Kessi. Die Lactosehydrolyse während des Fabrikations-

prozesses ist jedoch zwischen den einzelnen Fabrikationen unterschiedlich, wie die breiten Variationsbereiche der einzelnen Metabolitennachweise zeigen.

Die Auswertung der Einzelwerte ergibt eine positive Korrelation zwischen Glucose, Galactose, Lactat und der Lactosehydrolyse während der Fabrikation. Es scheint uns daher lohnenswert, in separaten Versuchen die Milchsäurebakterienaktivität während des Fabrikationsprozesses anhand von Lactose-, Glucose-, Galactose- und Lactatuntersuchungen in Kessimilch, frischer Ausrührsirt und 0-stündigem Käse eingehender zu studieren.

3.4 Untersuchungen während der Milchsäuregärung

3.4.1 Lactose, Glucose, Galactose und Lactat in Käsen

In 11 Käsen wurden nach 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 15 und 22 Stunden sowie nach 2 und 5 Tagen Proben zur Kontrolle des Lactoseabbaus entnommen. Die Probeentnahme erfolgte jeweils 15 bis 20 cm vom Järb entfernt, durchgehend von Flachseite zu Flachseite. Für die Analysen wurde der Käse fein gerieben und gemischt, so dass eine Durchschnittsprobe zur Verfügung stand.

Die Ergebnisse zeigen, dass in den untersuchten Emmmentalerkäsen die Lactose relativ rasch hydrolysiert wird (Tab. 3). In allen Käsen war der Lactosenachweis spätestens nach 5 Stunden negativ. In der Geschwindigkeit des Lactoseabbaus bestehen jedoch zwischen den einzelnen Käsen teilweise erhebliche Differenzen.

Während der Lactosehydrolyse erfolgt ein verhältnismässig geringer Anstieg der Glucosekonzentration (Tabelle 3). Nach beendeter Lactosehydrolyse sinkt der Glucosegehalt ebenfalls rasch, so dass im 22-stündigen Käse weniger als 0,3 μMol Glucose pro gr. Käse nachweisbar sind.

Anders verhält es sich bei der Galactose. Wie Tabelle 3 zu entnehmen ist, steigt die Galactosekonzentration während des Lactoseabbaus und erreicht in einigen Fällen ca. $\frac{3}{4}$ der molaren Konzentration der Lactose des 0-stündigen Käses. Im 22-stündigen Käse sind teilweise noch massive Galactosekonzentrationen nachzuweisen.

Tabelle 3: Lactose-, Glucose- und Galactosekonzentration im

Zeit	Käse (N = 11)		Glucose ($\mu\text{Mol/g}$)		Galactose ($\mu\text{Mol/g}$)	
	Lactose ($\mu\text{Mol/g}$)	VB	$\bar{x}$	VB	$\bar{x}$	VB
0 Std.	53,0	43,3—61,5	1,3	0,5—2,5	4,3	1,8—7,6
1 Std.	31,3	24,4—39,5	3,5	1,8—5,5	11,2	6,1—17,2
2 Std.	16,4	2,9—23,7	3,6	3,0—5,0	20,4	14,0—30,3
3 Std.	5,6	0—13,8	2,7	1,0—3,9	29,5	24,4—33,8
4 Std.	0,8	0—4,4	1,3	0,7—2,1	33,7	31,0—37,8
5 Std.	0		0,9	0,6—1,4	34,7	33,2—36,0
6 Std.	0		0,6	0,5—0,7	34,2	33,3—36,1
8 Std.	0		0,5	0,5—0,6	30,8	24,7—34,8
10 Std.	0		0,5	0,4—0,7	27,6	15,1—35,2
15 Std.	0		0,3	0,1—0,5	16,5	0,9—26,3
22 Std.	0		0,1	0—0,3	2,9	0,3—12,2
2 Tg.	0		0		0	
5 Tg.	0		0		0	

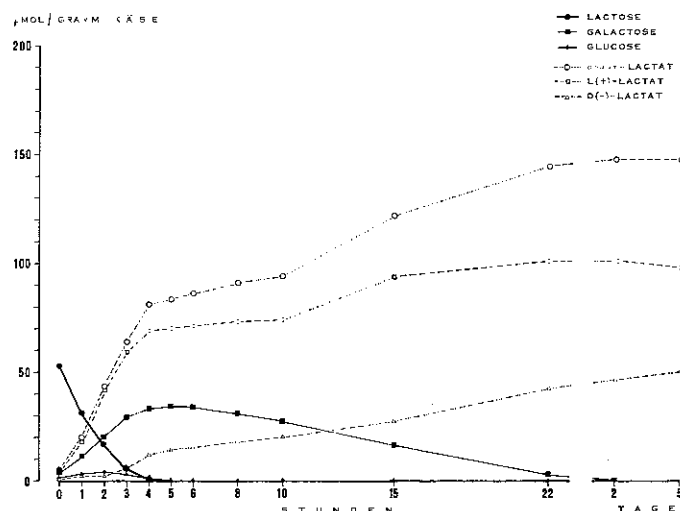
Die Galactosebestimmungen zeigen, dass nach erfolgter Spaltung der Lactose in Glucose und Galactose die beiden Monosaccharide unterschiedlich rasch weiter abgebaut werden. Während die Glucose nie eine Konzentration von 4 $\mu\text{Mol/g}$ übersteigt und somit rasch zu Glucose-6-P phosphoryliert und weiter abgebaut wird, erfolgt die Verwertung der Galactose nur schleppend. Es scheint, dass die Einschleusung der Galactose in den FDP-Weg über Galactose-1-P, Glucose-1-P zu Glucose-6-P erst nach Beendigung des Glucoseangebots aktiviert wird.

Der Lactatnachweis erlaubt Rückschlüsse auf die Intensität des Lactoseabbaus im Käse. Die Ergebnisse der Lactatbestimmung (Tab. 4) zeigen eine relativ gute Uebereinstimmung mit früheren Untersuchungen [9]. Lactat, als Endprodukt der homofermentativen Milchsäuregärung zeigt eine kontinuierliche Zunahme. Bis zur 4. Stunde beträgt die stündliche Lactatbildung durchschnittlich 20 $\mu\text{Mol/g}$.

Tabelle 4: Lactatkonzentration und prozentualer L(+)-Lactatanteil im Käse (N = 11)

Zeit	Lactat ($\mu\text{Mol/g}$) $\bar{x}$	VB	L(+)-Lactat (%) $\bar{x}$
0 Std.	4,9	2,8—6,9	83,7
1 Std.	20,0	11,8—29,4	91,0
2 Std.	42,9	28,6—65,8	96,0
3 Std.	64,3	51,4—81,5	91,0
4 Std.	81,4	75,2—86,9	84,8
5 Std.	83,5	79,1—88,7	83,5
6 Std.	85,8	80,8—96,0	82,5
8 Std.	91,1	84,5—105,8	80,1
10 Std.	93,7	84,7—112,0	78,8
15 Std.	121,8	97,4—149,1	77,5
22 Std.	144,8	130,6—154,1	68,8
2 Tage	148,0	140,0—153,1	68,4
5 Tage	148,1	138,1—156,6	66,2

Der grosse prozentuale Anteil des L(+)-Lactats in den ersten Stunden lässt auf eine intensive Stoffwechselaktivität der thermophilen Streptokokken schliessen. Nach der 4. Stunde verläuft die Milchsäuregärung deutlich schleppender. Die Lactatzunahme pro Stunde reduziert sich auf durchschnittlich 2—6 $\mu\text{Mol/g}$. Möglicherweise ist diese Reduktion auf die langsamere Stoffwechselaktivität der Lactobacillen zurückzuführen. Es ist jedoch auffallend, dass die verminderte Lactatzunahme mit dem Zeitpunkt der vollständigen Lactosehydrolyse im Käse zusammenfällt. Es ist daher nicht auszuschliessen, dass die Galactosevergärung limitierend für die Geschwindigkeit der Lactatbildung nach der 4. Stunde wirkt. Die Zusammenhänge zwischen Lactose-, Glucose- und Galactoseabbau einerseits sowie der Lactatbildung und der Lactatkonfiguration im Käse andererseits sind in Figur 1 dargestellt.

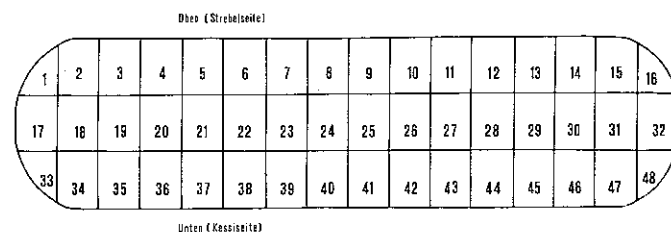


Figur 1: Lactose-, Glucose-, Galactose- und Lactatkonzentration sowie Lactatkonfiguration im Emmentalerkäse

3.4.2 Lactose, Glucose, Galactose und Lactat in den verschiedenen Zonen des Käses

In den vorgängig erwähnten Untersuchungen wurde jeweils nur eine Probe pro Käse entnommen. Durch die Abkühlung

der Käsemasse auf der Presse entstehen innerhalb des Käselaibes zwischen den Randzonen und dem Zentrum teilweise grosse Temperaturdifferenzen, die sich auf den Verlauf der Milchsäuregärung auswirken könnten. Diese Tatsache veranlasste uns, den Lactoseabbau in den verschiedenen Zonen des Käses zu untersuchen. In derselben Fabrikationscharge wurden im Käsefertiger der Versuchskäserei 3 Käse hergestellt. Nach 4, 8 und 22 Stunden wurde je ein Käse für die Probeentnahme verwendet. Von jedem Käse wurde eine 3 cm breite Scheibe von Järbseite durch das Zentrum zur Järbseite vertikal herausgeschnitten. Die Käsescheibe wurde sofort abgekühlt und für die Untersuchung jeweils in 48 gleich grosse Zonen eingeteilt und jede Zone separat untersucht, wie Figur 2 zeigt.



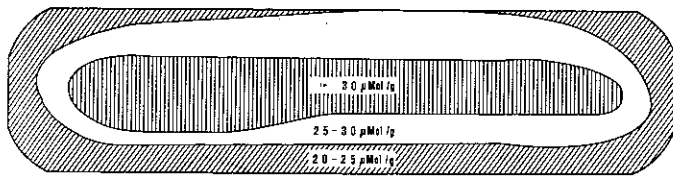
Figur 2: Probeentnahme für die zonalen Untersuchungen

Tabelle 5: Lactose, Glucose, Galactose und Lactat in verschiedenen Zonen eines Käses (N = 48 Zonen)

Bestimmung	Alter des Käses					
	4 Std.		8 Std.		22 Std.	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Lactose	2,7	1,18	0,5		0	
Glucose	0,9	0,21	0,7	0,11	0	
Galactose	30,3	1,55	26,8	2,80	0	
Lactat	72,8	4,15	89,0	6,25	137,1	2,11
L(+)-Lactat	61,0	2,74	67,6	3,85	100,2	3,30
D(-)-Lactat	11,8	2,20	21,5	2,71	36,9	3,08

(Angaben in $\mu\text{Mol/g}$)

Die Ergebnisse (Tab. 5) können lediglich eine gewisse Tendenz aufzeigen, weil in jedem Zeitpunkt nur 1 Käse untersucht wurde. Die Resultate im 4-stündigen Käse ergeben relativ kleine Schwankungen zwischen den verschiedenen Zonen eines Käses. Die höchsten Lactosekonzentrationen (bis 5 $\mu\text{Mol/g}$) wurden in den zentralen Zonen des Käses ermittelt. Glucose, Galactose und Lactat zeigten jedoch zu diesem Zeitpunkt keine signifikanten Abweichungen zwischen den verschiedenen Zonen. Dieselbe Feststellung gilt für die Lactatisomere. Die bis zur 4. Stunde noch relativ kleinen Temperaturdifferenzen ergaben keine eindeutigen zonalen Unterschiede in der Stoffwechselaktivität der thermophilen Streptokokken. Im 8-stündigen Käse waren die zonalen Differenzen grösser. Im Gegensatz zu den Untersuchungen in den Normalkäsen konnten teilweise noch geringe Lactosemengen ermittelt werden (Probeentnahmestelle). Die Lactose war ausschliesslich in den zentralen Zonen zu finden. Deutliche Unterschiede sind in der Galactosekonzentration festzustellen, wie Figur 3 zeigt. Von der Randzone gegen das Zentrum steigt der Galactosegehalt. Da indirekt proportional zur Galactosekonzentration der Lactatgehalt tiefer ist, steht fest, dass die Milchsäuregärung zwischen der 4. und 8. Stunde im Zentrum deutlich schleppender verlaufen ist. Konstante Ergebnisse zeigen die Untersuchungen des 22-stündigen Käses. Lactose, Glucose und Galactose waren im untersuchten Käse zu diesem Zeitpunkt vollständig abgebaut.



Figur 3 Zonen gleicher Galactosekonzentration in einem 8-stündigen Emmentalerkäse

3.4.3 Galactose- und Lactatkonzentration in 24-stündigen Käsen verschiedener Käsereien

Die Feststellung, dass im 1 Tage alten Käse noch Galactose vorhanden sein kann, erfordert für die Käsereibereitung nebst der Lactatbestimmung ebenfalls den Galactosenachweis im 24-stündigen Käse, um den Verlauf der Milchsäuregärung vollständig zu erfassen. In 24-stündigen Käseproben aus verschiedenen Käsereien wurden daher Lactat und Galactose bestimmt. Es zeigte sich, dass in ca. 10–12% aller untersuchten Proben noch Galactose vorhanden war. Die statistische Auswertung von über 2000 Proben (in der Zeit vom 1. 7. 74 bis 4. 10. 74) ergibt für die Galactosehaltigen Käseproben einen eindeutig tieferen Lactatgehalt (Tab. 6). Proben mit einer Lactatkonzentration von über 145 µMol/g wiesen keine Galactose auf.

Tabelle 6: Lactatkonzentration in 24-stündigen Käseproben mit bzw. ohne Galactose

Bestimmung	Käse ohne Galactose		Käse mit Galactose	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Lactat (µMol/g)	143,8	7,9	117,1	14,3
Galactose (µMol/g)	0		15,9	8,4

Die höchste Galactosekonzentration (Einzelwert) betrug 33,8 µMol/g bei einem entsprechenden Lactatgehalt von 96,0 µMol/g.

3.5 Untersuchung der Abflusssirte

Die Intensität der Milchsäuregärung beeinflusst die Entsirtung des Käses. In der während des Pressens abfließenden Molke (Abflusssirte) befinden sich Lactose, Stoffwechselzwischenprodukte des Lactoseabbaus und Lactat. Durch die Menge der Abflusssirte werden der maximale Lactatgehalt sowie der Calcium- und Phosphatverlust des Käses direkt beeinflusst. Indirekte Auswirkungen hat die Entsirtung auf die Proteolyse und die Propionsäuregärung. Der Bedeutung der Abflusssirte bezüglich Austritt wichtiger Gärsubstrate und Stoffwechselprodukte aus der Käsemasse von Emmentalerkäse ist bisher in der Literatur wenig Beachtung geschenkt worden.

In der Abflusssirte von 11 Käsen wurden die Lactose-, Glucose-, Galactose- und Lactatkonzentration zu verschiedenen Zeitpunkten bestimmt. Während des Pressens der Käsemasse in tuchlosen Pressformen wurde die aus den Käsen abfließende Sirte aufgefangen. Jeweils nach 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 15 und 22 Stunden wurde die in der Zwischenzeit angefallene Abflusssirte gemessen und analysiert.

Die Menge der Abflusssirte (Tab. 7) bestätigt die längst bekannte Tatsache, wonach die Entsirtung mit zunehmender Presszeit kleiner wird. Innerhalb der ersten Stunde tritt in diesen Versuchen durchschnittlich 55%, innerhalb von 4 Stunden über 90% der gesamten Abflusssirtenmenge aus der Käsemasse aus.

Die durchschnittliche Abflusssirtenmenge beträgt in den vorliegenden Untersuchungen 16,6 Liter pro Käse (Gewicht nach 22 Stunden durchschnittlich 84,6 kg). Pro kg Käse variierte die Abflusssirtenmenge von 1,7 bis 2,3 dl. Der durchschnittliche Wassergehalt im Käse betrug nach 22 Stunden ca. 38%. Daraus lässt sich für die untersuchten Käse ein Molkegehalt von ca. 32 kg errechnen. Diese Berechnung zeigt, dass ein Käse während der Presszeit noch ca. einen Drittel der Molke verliert.

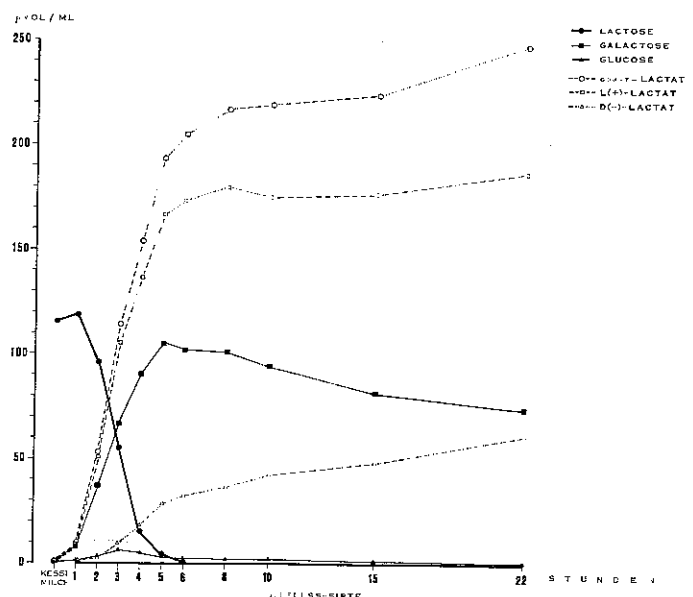
Tabelle 7: Menge der Abflusssirte aus dem Käse (N = 11)

Zeit	Abflusssirte (dl/Käse)	
	$\bar{x}$	VB
1 Std.	91,7	69,6—115,1
2 Std.	28,1	14,5—35,0
3 Std.	17,5	11,3—24,7
4 Std.	10,9	8,4—13,1
5 Std.	6,2	3,8—8,0
6 Std.	4,2	2,9—6,1
8 Std.	4,3	1,9—7,4
10 Std.	1,8	0,8—3,7
15 Std.	1,1	0,6—1,6
22 Std.	0,5	0—2,1
Total	166,3	

Der breite Variationsbereich in der Abflusssirtenmenge lässt auf teilweise erhebliche Unterschiede in der Entsirtung schliessen.

Die Gehalte von Lactose, Glucose, Galactose und Lactat sind in Tabelle 8 zusammengestellt sowie in Figur 4 dargestellt.

Die Lactose ist in der Abflusssirte nach 8 Stunden vollständig hydrolysiert. Die höchste Lactoseabbaurate liegt zwischen der 2. und der 4. Stunde. Der Variationsbereich im Lactosegehalt ist verhältnismässig gross wie dies ebenfalls in den entsprechenden Analysen der Käse festgestellt wurde. Die Glucose war in der Abflusssirte in relativ kleiner Konzentration nachzuweisen. Die höchsten Werte für Glucose wurden nach 3 Stunden ermittelt.



Figur 4: Lactose-, Glucose-, Galactose- und Lactatkonzentration sowie Lactatkonfiguration in der Abflusssirte von Emmentalerkäse

Tabelle 8: Lactose-, Glucose-, Galactose- und Lactatkonzentration sowie prozentualer L(+)-Lactatgehalt in der Abflusssirte (N = 11)

Zeit	Lactose ($\mu\text{Mol/ml}$)		Glucose ($\mu\text{Mol/ml}$)		Galactose ($\mu\text{Mol/ml}$)		Lactat ($\mu\text{Mol/ml}$)		L(+)-Lactat (%)
	$\bar{x}$	VB	$\bar{x}$	VB	$\bar{x}$	VB	$\bar{x}$	VB	$\bar{x}$
1 Std.	119,3	113,3—128,4	0,9	0,3—3,3	8,4	5,1—11,3	9,4	5,7—13,8	94,7
2 Std.	95,4	69,0—119,9	3,3	0,5—10,0	37,3	21,5—57,6	53,4	34,4—83,5	95,7
3 Std.	54,6	15,1—70,7	6,1	3,4—11,7	66,5	52,2—106,7	113,8	83,1—176,6	92,4
4 Std.	14,4	0—27,2	4,7	1,9—9,0	90,6	82,1—97,3	154,5	139,5—172,1	88,4
5 Std.	3,9	0—8,6	2,3	1,5—3,8	104,7	97,2—111,1	193,1	179,0—210,7	85,8
6 Std.	0,5	0—2,2	1,7	1,4—2,6	102,2	97,3—108,5	204,9	193,5—221,0	84,4
8 Std.	0		1,3	1,1—1,7	100,7	89,9—108,3	216,8	192,3—230,0	83,3
10 Std.	0		1,4	1,2—1,6	93,7	74,9—105,0	218,7	182,2—236,0	80,2
15 Std.	0		1,1	0,8—1,3	81,9	47,6—95,2	224,7	174,5—285,8	78,3
22 Std.	0		1,1	0,9—1,3	74,3	63,7—99,1	248,4	212,7—290,5	75,4

Die Galactosekonzentration steigt in der Abflusssirte bis zur 5. Stunde rasch an und erreicht zu diesem Zeitpunkt annähernd die vorgegebene molare Konzentration der Lactose in der Kessimilch. Wesentlich langsamer als in der Käsemasse erfolgt der Galactoseabbau in der Abflusssirte, beträgt doch der Galactosegehalt nach 22 Stunden 60 bis 100 $\mu\text{Mol/ml}$.

Der Lactatgehalt der Abflusssirte nimmt nach der 1. Stunde konstant um 40—60 $\mu\text{Mol/ml}$ zu.

Zur Demonstration der Bedeutung der Entsirung wurden in Tabelle 9 die Lactose-, Glucose- und Galactosekonzentrationen in mMol Lactat pro Käse umgerechnet. Dabei wurde vorausgesetzt, dass pro Mol Lactose 4 Mol Lactat, bzw. pro Mol Glucose und Galactose je 2 Mol Lactat entstehen. Diese Werte zeigen, dass aus dem Käse in den ersten 4 Stunden ca. 90% der Metabolite mit der Abflusssirte austreten. Ueber 50% der Gärsubstrate sind bereits in der Abflusssirtenmenge der 1. Stunde enthalten. Rund $\frac{3}{4}$ der Gärsubstrate macht der Lactoseanteil in der Abflusssirte aus, während der Galactose- und der Lactatverlust ca. $\frac{1}{4}$ beträgt. Die Glucosekonzentration in der Abflusssirte ist sehr klein.

Tabelle 9: Durchschnittlicher Lactose-, Glucose-, Galactose- und Lactatverlust pro Käse durch die Abflusssirte (ausgedrückt in mMol Lactat)

Zeit	mMol Lactat/Käse* errechnet aus:				
	Lactose	Glucose	Galactose	Lactat	Total
1 Std.	4 376	16	154	86	4 632
2 Std.	1 072	19	209	150	1 450
3 Std.	384	21	233	200	838
4 Std.	64	10	197	168	439
5 Std.	10	3	130	120	263
6 Std.	1	1	86	86	174
8 Std.	0	1	86	93	180
10 Std.	0	1	34	40	75
15 Std.	0	0	17	24	41
22 Std.	0	0	8	13	21
Total	5 907	72	1 154	980	8 113

* 1 mMol Lactose = 4 mMol Lactat

1 mMol Glucose bzw. Galactose = 2 mMol Lactat

Tabelle 10: Lactatbilanz errechnet aus den analysierten Metaboliten (Lactose, Glucose, Galactose, Lactat) im 0-stündigen Käse bzw. 22-stündigen Käse und Abflusssirte

	Gewicht kg	Lactose	Metabolite in mMol/Käse		Lactat	total mMol* Lactat/Käse (errechnet)	Bilanz mMol Lactat
Käse 0 Std.	101,2	5 364	132	435	496	23 084	23 084
Käse 22 Std.	84,6	0	9	545	12 250	12 758	20 871
Abflusssirte	16,6	1 476	37	577	979	8 113	

* 1 mMol Lactose = 4 mMol Lactat

1 mMol Glucose bzw. Galactose = 2 mMol Lactat

Zur Kontrolle der Käse- und der Abflusssirtenuntersuchungen sowie zur Beurteilung des Einflusses der Entsirung im Käse wurde anhand der vorliegenden Ergebnisse (Durchschnittswerte) eine Lactatbilanz aufgestellt. Laut Definition der homofermentativen Milchsäuregärung wird die Lactose durch die Milchsäurebakterien über den FDP-Weg «vollständig» (d. h. zu mindestens 90%) zu Lactat vergoren. Der Berechnung legten wir die Annahme zu Grunde, dass die Lactose und die Stoffwechselzwischenprodukte zu 100% zu Lactat transformiert werden. Anhand dieser Annahme lässt sich im vorliegenden Versuch eine Bilanz aus der Lactose und deren Metabolite im 0-stündigen Käse einerseits und den entsprechenden Ergebnissen des 22-stündigen Käses und der Abflusssirte andererseits errechnen.

Das Käsegewicht nach 22 Stunden betrug durchschnittlich 84,6 kg und die mittlere Abflusssirtenmenge 16,6 Liter. Daraus lässt sich ein Käsegewicht frisch (nach 0 Stunden) von 101,2 kg errechnen.

Aus den Durchschnittswerten der Kohlenhydrat- und Lactatbestimmungen im 0-stündigen Käse kann eine Lactatkonzentration von 23 084 mMol pro Käse errechnet werden (Tabelle 10). Innerhalb der ersten 22 Stunden wurde die Lactose vollständig, die Glucose fast vollständig zu Lactat vergoren. Durchschnittlich wurden pro Käse 12 250 mMol Lactat produziert. Aus dem «Restzucker» Galactose von 245 mMol und Glucose von 9 mMol lässt sich noch eine Lactatmenge von 508 mMol hinzurechnen, so dass nach beendeter Milchsäuregärung im Käse total 12 758 mMol Lactat zur Verfügung stehen. Während des Pressens ver-

liert der Käse mit der Abflusssirte 8 113 mMol Lactat. Die Berechnungen anhand der erhaltenen Analysenresultate ergeben, dass im 22-stündigen Käse und in der Abflusssirte 20 871 mMol (oder 90,4%) der errechneten 23 084 mMol Lactat wieder aufgefunden wurden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass einzig Glucose und Galactose als Zwischenprodukte des FDP-Weges analysiert wurden.

Die Resultate zeigen zudem, dass ca. 40% des im ungespressten Käse vorhandenen Gärsubstrates mit der Abflusssirte dem Käse verloren gehen, während rund 60% in der Käsemasse verbleiben. In gärungstechnischer Hinsicht kommt daher, wie bereits erwähnt, der Entsirung eine grosse Bedeutung zu.

Fräulein E. Denzler und Fräulein H. Fiechter möchten wir an dieser Stelle für die Mitarbeit bei der Ausführung der Analysen bestens danken. Den Herren Dr. G. Gehrig, H. Kaufmann und J. Kurmann danken wir für die Durchführung der Käseversuche in Uettiligen und die Probeerhebungen.

4. Zusammenfassung

Die Untersuchung von je 24 Kessilmilchproben aus 12 Käsereien ergab nur geringe Schwankungen in der Lactosekonzentration während des Jahres. Der Lactosegehalt der verarbeiteten Milch liegt vor dem Wasserzusatz zur Kessilmilch innerhalb der erwähnten Periode zwischen 4,58 und 4,85%. Je nach Wasserzusatz, der zwischen 2,5 und 10,6% betrug, reduzierte sich die Lactosekonzentration in der Kessilmilch auf 4,61 bis 4,21%.

Bereits während des Fabrikationsprozesses wird ein Teil der Lactose hydrolysiert. Der Käse weist zu Beginn des Pressens einen durchschnittlichen Lactosegehalt von 53 μ Mol/g auf und die Konzentration von Glucose (1,3 μ Mol/g), Galactose (4,3 μ Mol/g) und Lactat (4,9 μ Mol/g) beginnt schon im Laufe der Bearbeitung im Kessi anzusteigen. Aus 11 Emmentalerkäsen wurden in regelmässigen Abständen Proben erhoben, die Abflusssirte gemessen und analysiert. Die Lactose wird im Käse bis zur 5. Stunde vollständig hydrolysiert. Die Glucose erreicht mit 3,6 μ Mol/g den Maximalwert. Während der Lactosehydrolyse stieg die Galactosekonzentration rasch bis ca. 35 μ Mol/g an und wurde in der Folge nur langsam weiter abgebaut. Im 22-stündigen Käse war daher noch Galactose nachweisbar.

Die Untersuchung je eines Käses nach 4, 8 und 24 Stunden, aufgeteilt in 48 Zonen, ergab, dass die Galactose in den zentralen Zonen des Käses zwischen der 4. und der 8. Stunde deutlich langsamer abgebaut wird als in den Randzonen.

Die Untersuchung von über 2 000 Käseproben im Alter von 24 Stunden aus verschiedenen Käsereien zeigte, dass 10 bis 12% aller Proben noch Galactose enthielten. In diesen Käsen war die Lactatkonzentration signifikant tiefer als in Proben, die keine Galactose mehr aufwiesen.

Emmentalerkäse gaben während des Pressens 1,7 bis 2,3 dl Abflusssirte pro kg Käse ab. Innerhalb der 1. Stunde fliesst über 50%, bis zur 4. Stunde über 90% der gesamten Sirtenmenge ab.

In der erstellten Lactatbilanz war ersichtlich, dass über 90% der im 0-stündigen Käse errechneten Lactatmenge in der Abflusssirte und im 22-stündigen Käse wiedergefunden werden konnten. Von dem im 0-stündigen Käse vorhandenen Gärsubstrat werden rund 40% mit der Abflusssirte weggeführt.

4. Résumé

L'analyse de 24 échantillons de lait de chaudière par fromagerie, et cela dans 12 fromageries, n'a révélé que de très faibles variations de la concentration de lactose pendant l'année. Le taux de lactose du lait transformé se situe, en l'espace d'une année, avant l'adjonction d'eau au lait de chaudière, entre 4,58 et 4,84%. Selon l'importance de l'adjonction d'eau, qui s'élevait à 2,5 jusqu'à 10,6%, la concentration de lactose dans le lait de chaudière s'est réduite de 4,61 à 4,21%.

Durant le processus de fabrication déjà, une partie du lactose est hydrolysée. Au début du pressage, le taux moyen de lactose du fromage est de 5,3 μ mol/g et la concentration de glucose (1,3 μ mol/g) de galactose (4,3 μ mol/g) et de lactate (4,9 μ mol/g) commence déjà de monter pendant le travail dans la chaudière. Dans 11 fromages Emmental on a effectué des prélèvements à intervalles réguliers, et mesuré et analysé la quantité de sérum s'écoulant du fromage. Jusqu'à la 5e heure, le lactose est complètement hydrolysé. Le glucose atteint sa valeur maximale à 3,6 μ mol/g, et la concentration de lactose augmente rapidement pendant l'hydrolyse du lactose jusqu'à 35 μ mol/g pour ne diminuer ensuite que très lentement. L'on trouva donc encore des restes de galactose dans des fromages de 22 heures.

L'analyse de 1 fromage dans chacune des 48 zones, après 4, 8 et 24 heures, a montré que le galactose diminuait de façon nettement plus lente, entre la 4e et la 8e heure, dans les parties centrales du fromage que dans les zones de bordure.

Les analyses de plus de 2 000 échantillons de fromage de 24 heures provenant de diverses fromageries montrèrent que 10 à 12% des échantillons contenaient encore du galactose. Dans ces fromages, la concentration de galactose était nettement plus basse que dans les échantillons qui ne contenaient plus de galactose.

Pendant le pressage, les fromages Emmental donnèrent de 1,7 à 2,3 dl de sérum s'écoulant du fromage, par kg. Plus des 50% de la quantité totale du sérum s'écoulent pendant la 1re heure, et jusqu'à la 4e heure, c'est plus du 90% qui se sont écoulés.

Le bilan établi au sujet du lactate montrait clairement que plus du 90% de la quantité de lactate calculée par analyse dans les fromages frais (au commencement du pressage) se retrouvent dans le sérum s'écoulant du fromage, et dans les fromages de 22 heures. Les 40% environ de la substance de fermentation présente dans un fromage frais (commencement du pressage) sont évacués dans le sérum qui s'écoule.

Summary

The analysis of 24 vat milk samples each from 12 cheese factories showed, during the year, only slight variations in the lactose concentration. The lactose content of the processed milk, before water addition to the vat milk, came, during the mentioned period, to 4.58—4.85%. According to water addition, amounting to 2.5—10.6%, the lactose concentration in the vat milk decreased to 4.61—4.21%.

Already during cheesemaking one part of the lactose is hydrolysed. At the beginning of pressing the cheese has an average lactose content of 53 μ Mol/g, and the concentrations of glucose (1.3 μ Mol/g), galactose (4.3 μ Mol/g), and lactate (4.9 μ Mol/g) are already increasing during processing in the vat. Samples have been taken in regular

intervals from 11 Emmental cheese bodies, and the outflowing whey has been measured and analysed. After 5 hours the lactose in the cheese was completely hydrolysed. Glucose reached its maximal value with $3.6 \mu\text{Mol/g}$. During the lactose hydrolysis galactose concentration rapidly increased to about $35 \mu\text{Mol/g}$, afterwards its degradation was proceeding more slowly. Galactose, therefore, can be found in 22 hours old cheese.

Analysis of one cheese each after 4, 8 and 24 hours, segmented into 48 zones, revealed that galactose degradation between the 4th and the 8th hour is distinctly slower in the central zones than in the border zones.

Analysis of more than 2000 samples of 24 hours old cheese samples from different cheese factories indicates that 10—12% of all the samples still contained galactose. In such cheese the concentration of lactate was distinctly lower than in the samples which did not contain galactose anymore.

During pressing of Emmental cheese 1.7 — 2.3 dl whey per kg cheese flows off. During the first hour 50% of whey, and up to the fourth hour more than 90% of the total whey is being discharged.

The lactate balance showed that over 90% of the calculated lactate values — as calculated through analysis in the 0-hour cheese — could be found again in the discharged whey and in the 22 hours old cheese. Of the fermentation substrate, present in the 0-hour cheese, about 40% is being taken off by the outflowing whey.

5. Literatur

- 1 Alfredsson, S., Nilsson, R. und Sjöström, G.: Lactose- und Citronensäureabbau im Käse und der Einfluss hoher Nachwärmtemperaturen auf diese Prozesse, XVI. Int. Milchw. Kongr. Kopenhagen 1962, Sektion IV: 2, S. 747
- 2 Berglöv, A. und Kjell, S.: Milchzuckergehalt des Käses und pH ein Qualitätsfaktor, Svenska Mejeritidn. **51**, 473, (1959)
- 3 Berner, G.: Zuckerabbau während der Camembert-Reifung. Enzymatische Bestimmung von D-Lactose, D-Glucose und D-Galactose. Milchwissenschaft **25**, 275 (1970)
- 4 Czulak, J., Conochie, J., Sutherland, B. J. und Van Leeuwen, J. J. M.: Lactose, acide lactique et équilibre minéral dans la fabrication du fromage de Cheddar, J. Dairy Res. **36**, 93 (1969)
- 5 Hettinga, D. H., Miah, A. H., Hammond, E. G. and Reinbold, G. W.: Sensitive Enzymatic Method for Determination of Glucose, Galactose and Lactose in Cheddar Cheese, J. Dairy Sci. **53**, 1377 (1970)
- 6 Nahanishi, T. and Tokita, F.: Studies on Cheese Ripening, Milchwissenschaft **13**, 9 (1958)
- 7 Ritter, W., Sahli, K. W. und Schilt, P.: Restzucker und pH-Wert im jungen Käse, Schweiz. Milchztg. **87**, 613 (1961) W. B. Nr. 77.
- 8 Steffen C., Nick B. und Blanc B.: Methodik zur enzymatischen Bestimmung von Lactose, Glucose, Galactose und Lactat im Käse. Schweiz. Milchw. Forschung **4**, (1975)
- 9 Steffen, C.: Konzentration und Konfiguration der Milchsäure im reifenden Emmentalerkäse. Diss. Nr. 4630. Eidg. Technische Hochschule, Zürich, 1971.