

# Lebensmittel

## Chemische Struktur und Fettsäureverteilung des Milchfettes

Marius Collomb, Hans Eyer und Robert Sieber, Eidgenössische Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, Liebefeld (FAM), CH-3003 Bern  
Auskünfte: Marius Collomb, e-mail: marius.collomb@fam.admin.ch, Fax +41 (0)31 323 82 27, Tel. +41 (0)31 323 81 33

### Zusammenfassung

**M**ilchfett besteht aus mehr als 400 verschiedenen Fettsäuren. Diese können direkt aus dem Futter und dem Fettgewebe stammen oder durch Biohydrierung im Pansen wie auch durch Biosynthese in der Milchdrüse entstehen. Mit den offiziellen Methoden können ungefähr 20 Fettsäuren des Milchfettes bestimmt werden, die Resultate werden in relativen Massenprozenten angegeben. Eine an der FAM entwickelte moderne Methode erlaubt den Nachweis von etwa 70 Fettsäuren des Milchfettes in absoluten Werten (g Fettsäure pro 100 g Fett). Mit dieser analytischen Verbesserung konnten neue Erkenntnisse über die Zusammensetzung des Milchfettes in Abhängigkeit der Fütterung ermittelt werden.

Milch ist ein komplex zusammengesetztes Lebensmittel und besteht aus Wasser, Fetten, Proteinen, Kohlenhydraten, Vitaminen, Mineralstoffen und Spurenelementen. Unter diesen Inhaltsstoffen kommt das Milchfett wegen seines Gehaltes an gesättigten Fettsäuren immer wieder in den Mittelpunkt des Interesses. Da jedoch das Milchfett nicht nur aus gesättigten Fettsäuren besteht, wird hier versucht, einige grundlegende Informationen über dessen Zusammensetzung zu erarbeiten.

### Hauptbestandteile des Milchfettes

Vollmilch schweizerischer Herkunft enthält im Mittel etwa 4,0 g Fett pro 100 g (Sieber *et al.*, 1999). Die Fettsäuren liegen im Milchfett zur Hauptsache gebunden als Triacylglyceride vor. Daneben sind eine Vielzahl anderer Komponenten wie Mono- und Diglyzeride, freie Fettsäuren, Phospholipide, Cholesterin, fettlösliche Vitamine (A, D, E, K) im Milchfett vorhanden, in Spuren auch Enzyme und Aroma- oder Abbaustoffe. Die wich-

tigsten Komponenten des Milchfettes sind mit ihrem Massenanteil bezogen auf 1 kg Fett in Tabelle 1 zusammengestellt.

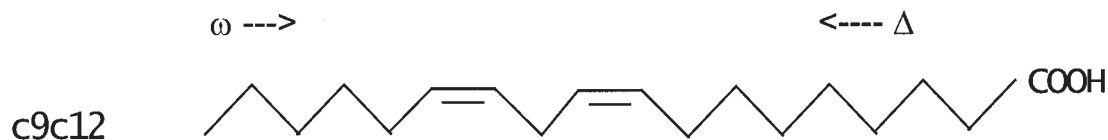
### Kurze Erläuterungen zur chemischen Struktur der Fette

Chemisch gesehen sind Fette zur Hauptsache Triacylglyceride, das heisst aus drei Fettsäuren und Glycerol aufgebaute Substanzen. Die Triacylglyceride werden hinsichtlich der Summe der Kohlenstoffatome der drei Fettsäuren gruppiert, die jeweils in einem Triglyzerid enthalten sind. Da die Fettsäuren in der Regel eine geradzahlige Kettenlänge aufweisen, sind auch die Triglyzeridgruppen, sie reichen von C-26 bis C-54, überwiegend geradzahlig.

Es existieren verschiedene Fettsäuren, die sich in der Kettenlänge und der Art der Bindungen zwischen den Kohlenstoffatomen unterscheiden. Dabei handelt es sich um gesättigte, unge-

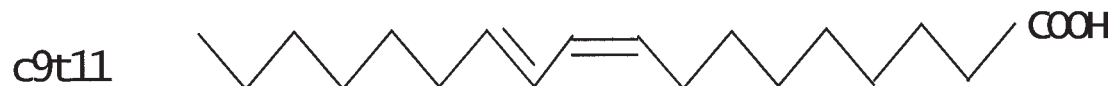
Abb. 1. Struktur von ungesättigten Fettsäuren.

### Linolsäure oder cis 9 cis 12-Octadecadiensäure



### Konjugierte Linolsäure

als Beispiel die cis 9 trans 11-Octadecadiensäure



sättigte und verzweigt-kettige Fettsäuren wie auch um Hydroxysäuren sowie zyklische Verbindungen. Die ungesättigten Fettsäuren enthalten mindestens eine Doppelbindung, die in cis- oder trans-Form vorliegen kann, und sie werden nach verschiedenen Systemen bezeichnet: entweder als Omega ( $\omega$ )-Fettsäuren oder auch nach dem Delta ( $\Delta$ )-System.  $\omega$ -3 Fettsäuren weisen eine erste Doppelbindung am C-Atom auf, das an dritter Stelle vom apolaren Kettenende (Methylgruppe) her gesehen steht. Analog enthält eine  $\omega$ -6 Fettsäure die erste Doppelbindung am sechsten C-Atom (Abbildung 1). Falls eine Fettsäure mehrere Doppelbindungen aufweist, sind diese jeweils durch eine Methylengruppe getrennt. Ausnahmen sind zum Beispiel die konjugierten Linolsäuren, bei denen die Doppelbindungen nicht durch eine Methylengruppe getrennt sind (Abbildung 1). Häufig gebraucht wird auch die Delta-Nummerierung ( $\Delta$ -System). Hier wird von der Säuregruppe her gezählt und die Stellung der Doppelbindung über die  $\Delta$ -Nummer angegeben.

Bezüglich der Kettenlänge werden die Fettsäuren (Fs) in verschiedene Gruppen unterteilt, wobei diese Unterteilung eher willkürlich ist und nicht von allen Autoren strikt eingehalten wird:

- Kurzkettige C-4 bis C-8 (oft als «flüchtige» Fs bezeichnet)
- Mittelkettige C-10 bis C-12
- Langkettige C-14 bis C-20

Tab. 1. Zusammensetzung der wichtigsten Komponenten des Milchfettes

Bestandteil des Milchfettes	Einheit	Massenanteil
Triacylglyceride	g/kg Fett	980 – 990
Mono- und Diglyceride	g/kg Fett	3 – 15
Freie Fettsäuren	g/kg Fett	3 – 6
Phospholipide	g/kg Fett	2 – 10
Cholesterol	g/kg Fett	2,8 – 3,2
Vitamin A	mg/kg Fett	9
Vitamin E	mg/kg Fett	22
Vitamin D	mg/kg Fett	0,013

Neben den einfach aufgebauten Triglyceriden enthält Milchfett eine Reihe von Phospholipiden, die anstelle einer Fettsäure eine Phosphorsäuregruppe tragen. Die Phosphorsäuregruppe ist zusätzlich mit einem mehr oder weniger polaren Rest verestert, der zur ausgeprägten Grenzflächenaktivität (Membranbaustein, Emulgatorwirkung) der Phospholipide beiträgt. Bei diesem Rest kann es sich um Cholin, Serin, Ethanolamin oder Inositol handeln. Die entsprechenden Phospholipide erhalten vor diesen Namen die Bezeichnung Phosphatidyl. Beim Phosphatidylcholin handelt es sich um das in der Lebensmittelindustrie oft als Emulgator verwendete Lecithin.

### Biosynthese der Fettsäuren

In der Kuh können die in die Milch ausgeschiedenen Fettsäuren aus zwei verschiedenen Quellen stammen: Pansen und Milchdrüse (Demeyer und Doreau, 1999).

### Biohydrierung im Pansen

Neben der Futterzusammensetzung können verschiedene biologische Faktoren wie die bakterielle Biohydrierung und die Desaturasen die Fettsäurezusammensetzung des Milchfettes beeinflussen.

Im Pansen der Kuh werden die im Futter aufgenommenen Tri-

glyceride, Phospholipide und andere Lipide durch extrazelluläre Lipasen rasch hydrolysiert. Die ungesättigten Fettsäuren unterliegen sodann einer intensiven Biohydrierung durch zwei verschiedene Gruppen von hydrierenden Bakterien. Die eine Gruppe hydriert Linol- und  $\alpha$ -Linolensäure hauptsächlich zur trans-Vaccensäure (trans-11-Octadecensäure, C18:1 t11). Die andere Gruppe an Bakterien ist in der Lage, cis- und trans-Isomere der ungesättigten Fettsäuren zur Stearinsäure zu hydrieren. Diese Fettsäuren, vor allem die Stearinsäure (C18), können durch die im Verdauungskanal und in der Milchdrüse vorhandenen Desaturasen teilweise desaturiert werden. Dies erklärt, weshalb die Ölsäure im Milchfett die mengenmäßig wichtigste, ungesättigte Fettsäure darstellt. Mit diesem Mechanismus gelingt es der Kuh, den Schmelzbereich des Milchfettes immer unter ihrer Körpertemperatur zu halten. Die Natur sorgt so für möglichst ideale Bedingungen zur Erhaltung intakter, nativer Fettkügelchen. Auch ist durch die oben erwähnte Hydrierung das Milchfett weniger oxidationsanfällig und weniger Oxidationsfehlern unterworfen.

In der Regel liegen die aus der Biosynthese stammenden Fettsäuren in der cis-Form vor. Bei Hydrierungsprozessen können

auch trans-Fettsäuren gebildet werden. Die Biohydrierung der mehrfach-ungesättigten Fettsäuren kann durch Zugabe von eingekapselten Fetten oder eingekapselten ungesättigten Fettsäuren zum Futter verlangsamt werden. Dieses Verfahren hat unter anderem den Vorteil, dass dadurch die Bildung der trans-Fettsäuren verhindert oder zumindest eingeschränkt wird.

### Biosynthese in der Milchdrüse

Während der Laktation ist bei den Wiederkäuern die Milchdrüse der wichtigste Ort der Fettsäuresynthese, ansonsten das Fettgewebe. Die Biosynthese der geradzahligen kurz- und mittelkettigen Fettsäuren (C<sub>4</sub> bis C<sub>14</sub>) geht vom Acetyl-Coenzym A und dem 3-Hydroxybutyrat aus, die im Pansen aus dem mikrobiellen Abbau von Kohlenhydraten stammen. Dabei ist in der Milchdrüse die Biosynthese für praktisch alle kurzkettigen und für etwa die Hälfte der mittelkettigen Fettsäuren verantwortlich. Die andere Hälfte der mittelkettigen und praktisch alle langkettigen Fettsäuren (C<sub>18:0</sub> und länger) stammen aus den Fettsäuren des Blutes (Absorption und Verdauung der Nahrungsfette) oder aus der Mobilisierung des Körperfettgewebes. Nach der Lipolyse des Fettes wird ein bedeutender Teil der freigesetzten Fettsäuren von der Milchdrüse aufgenommen, wo sie verestert werden. Nach Schätzungen werden etwa 50 % des Milchfettes aus den Fetten des Blutplasmas synthetisiert, wobei 88 % der Fettsäuren aus dem Futter herkommen. Einzig die mehrfach-ungesättigten Fettsäuren der Milch können nicht durch die Mikroorganismen gebildet werden und entstammen als solche vollständig dem Futter. Nach der Absorption werden diese Fettsäuren im Blut in Form von Lipoproteinen transportiert. Dass die Milch einen niedrigen Gehalt

an mehrfach-ungesättigten Fettsäuren aufweist, wird mit der schlechten Aufnahme dieser Fettsäuren aus der HDL (High Density Lipoprotein = Lipoprotein hoher Dichte) -Fraktion durch die Milchdrüse erklärt (Bauchard, 1993; Chilliard, 1993; Grummer, 1991; Jenkins, 1993).

### Verteilung der Fettsäuren im Milchfett

Milchfett zeichnet sich durch eine sehr breite Fettsäureverteilung aus, die von der Buttersäure (Butansäure) bis zur Stearinsäure (Octadecansäure) und weiteren langkettigen Fettsäuren reicht. Insgesamt wird heute von mehr als 400 Fettsäuren gesprochen, die im Milchfett gefunden wurden. Dabei weisen etwa 15 Fettsäuren einen Anteil von mehr als 1,0 % auf (Tab. 2 und 3). Die übrigen werden als Minorfettsäuren bezeichnet. Die Zusammensetzung des Milchfettes schlüsselt sich nach den verschiedenen Hauptgruppen (angegeben als relativer Massenanteil) folgendermaßen auf:

- Kurzkettige Fettsäuren (C<sub>4</sub> bis C<sub>10</sub>) 10-11 %
- Mittelkettige, gesättigte Fettsäuren (C<sub>12</sub> bis C<sub>14</sub>) 12-16 %
- Langkettige, gesättigte Fettsäuren (C<sub>16</sub> bis C<sub>20</sub>) 35-45 %
- Langkettige, ungesättigte Fettsäuren (C<sub>16</sub> bis C<sub>20</sub>) 25-35 %

Aufgrund des unterschiedlichen Futters beeinflusst die Jahreszeit die Zusammensetzung des Milchfettes, was deutlich aus den Beispielen in Tabelle 3 hervorgeht. Die Verfütterung von Gras (auch als Grünfütterung bezeichnet) führt in der Regel zu Milchfett mit einem hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren. Umgekehrt wird nach der Verfütterung von Dürrfutter (Dürrfütterung) der Anteil der unge-

sättigten Fettsäuren reduziert, was den Schmelzbereich des Milchfettes und dessen Härte erhöht. Die Unterschiede sind darauf zurückzuführen, dass im jungen, hochwertigen Grünfutter die mehrfach ungesättigten Fettsäuren (Linol- und Linolensäure) stark, in Dürrfutter, Rüben und Maissilage hingegen nur wenig vertreten sind.

### Neue Resultate zur Zusammensetzung der Fettsäuren des Milchfettes

Bis anhin wurde der Gehalt an Fettsäuren in relativen Massenprozenten angegeben, dabei wurden etwa 20 Fettsäuren analysiert (Tabelle 2). Inzwischen konnte der Nachweis der Fettsäuren im Milchfett mit einer hochauflösenden gaschromatographischen Methode so weit verbessert werden, dass neben den in Tabelle 2 angegebenen Fettsäuren eine Vielzahl von Minorfettsäuren bestimmt werden kann (Collomb und Bühler, 2000). Ausserdem erlaubt diese neu eingeführte Methode dank eines verwendeten internen Standards die Gehaltsangaben an Fettsäuren in absoluten Werten. In den Tabellen 3 (Hauptfettsäuren) und 4 (Minorfettsäuren) ist die Fettsäurezusammensetzung von Sommer- und Winterfett zusammengestellt (Collomb und Bühler, 2000). Insgesamt zeigt sich, dass der Gehalt an den verschiedenen Fettsäuren mit der neuen Methode tiefer liegt als frühere Angaben, die auf der Bestimmung der Methylester beruhen und in relativen Gewichtsprozenten angegeben wurden. Hinzu kommt, dass nun auch eine Vielzahl anderer Fettsäuren bestimmt werden kann.

Unter diesen vielen Fettsäuren konnten im Milchfett auch die konjugierten Linolsäuren nachgewiesen werden. Zu diesen zählen verschiedene Isomere wie c9t11, c9c11, t9t11, t9c11,

c10c12, c10t12, t10c12, und t10t12. Die ersten drei haben sich im Milchfett als die mengenmäßig wichtigsten herausgestellt (Collomb und Bühler 2000). Dabei fanden sich diese drei Isomeren im Sommermilchfett in einer höheren Konzentration im Vergleich zum Wintermilchfett (Tab. 4). Dass die konjugierten Linolsäuren in der wissenschaftlichen Literatur sehr beachtet werden, ist auf verschiedene günstige biologische Wirkungen zurückzuführen wie ihre mögliche krebsverhütende als auch ihre antiatherogene, immunomodulierende, wachstumsfördernde und fettfreie Körpermasse-verstärkende Eigenschaften (Mac Donald 2000, Sieber 1995).

Im Rahmen unserer Untersuchungen über die Beziehung zwischen der botanischen Zusammensetzung der Weiden und derjenigen der Milch in verschiedenen Vegetationszonen haben wir auch das Milchfett mit dieser neuen Methode untersucht. In Bezug auf die konjugierten Linolsäuren unterschied sich das Milchfett aus dem Tal-, Berg- und subalpinen Gebiet voneinander (Collomb *et al.* 2001). Dabei war die Konzentration an den drei Isomeren c9,t11, c9c11+t11c13, t9t11 im Milchfett der im subalpinen Gebiet produzierten Milch deutlich höher als in derjenigen im Talgebiet produzierten (Tab. 5). Diese Unterschiede müssen mit der vielfältigen Zusammensetzung der Alpweiden erklärt werden. Jedenfalls korrelierte der Gehalt an den gesamten konjugierten Linolsäuren positiv mit den verschiedenen auf den Alpweiden nachgewiesenen Weidepflanzen (Collomb *et al.*, 2002). Weitere eingehende Untersuchungen sind in Zukunft zu deren Abklärung notwendig.

## Literatur

■ Bauchard D.: Lipid absorption and transport in ruminants. *J. Dairy Sci.* **76**, 3864-3881 (1993).

Tab. 2. Fettsäurezusammensetzung von Proben aus Alpsommeruntersuchungen sowie der industriellen Fabrikation von Vorzugsbutter im Vergleich zu Angaben von Hadorn und Zürcher (1970) (Fettsäuremethylester in relativen Massenprozenten)

Fettsäure als Methylester		Alpsömm.*	Sommer** n=11	Winter** n=12	Hadorn***
Buttersäure	C4	4,15	4,36	4,36	3,79
Capronsäure	C6	2,2	2,48	2,57	2,17
Caprylsäure	C8	1,2	1,40	1,43	1,03
Caprinsäure	C10	2,4	2,89	3,07	2,53
Caproleinsäure	C10:1	0,3	0,30	0,30	0,30
Laurinsäure	C12	2,75	3,57	3,83	2,94
Summe div. Fs.		0,55	0,50	0,50	0,40
Myristinsäure	C14	9,8	10,80	11,66	10,22
Myristoleinsäure	C14:1	1,2	-	-	-
Summe div. Fs.		1,85	3,30	3,36	4,15
Palmitinsäure	C16	24,8	27,22	32,23	25,0
Palmitoleinsäure	C16:1	1,95	1,63	1,79	3,34
Heptadecansäure	C17	0,75	0,60	0,66	1,11
Summe div. Fs.		1,15	0,60	0,66	0,71
Stearinsäure	C18	10,6	9,64	8,73	9,62
Ölsäure	C18:1	29,3	25,78	21,07	25,81
Linolsäure	C18:2	2,55	2,30	1,96	4,05
Linolensäure	C18:3	-	1,29	1,11	-
Linolen-/Gadoleinsäure	C18:3+C20:1	1,5	1,1	1,3	2,83
Arachinsäure	C20	0,1	1,25	0,66	Spuren

\* Alpsommerbutter: Collomb *et al.* (1999) \*\* Sieber *et al.* (1998) \*\*\* Hadorn und Zürcher (1970)  
n = Anzahl Proben

Tab. 3. Zusammensetzung von Sommer- und Wintermilchfett: Hauptfettsäuren (g Fettsäure pro 100 g Fett) (Collomb und Bühler, 2000)

Fettsäure	Trivialname	Name nach IUPAC	Sommer (n=17)		Winter (n=17)	
			$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$
C4	Butters.	Butans.	3,09	0,098	3,16	0,168
C6	Caprons.	Hexans.	1,95	0,031	2,08	0,078
C8	Capryls.	Octans.	1,12	0,028	1,20	0,042
C10	Caprins.	Decans.	2,38	0,081	2,56	0,091
C10:1	Caproleins.	Decens.	0,30	0,011	0,30	0,013
C12	Laurins.	Dodecans.	2,78	0,112	3,12	0,134
C14	Myristins.	Tetradecans.	9,31	0,181	10,35	0,431
C15	Pentadecans.		1,04	0,025	1,11	0,068
C16	Palmitins.	Hexadecans.	23,52	0,490	28,69	1,236
C16:1 c	Palmitoleins.	c-Hexadecens.	1,19	0,040	1,31	0,078
C17	Margarins.	Heptadecans.	0,63	0,084	0,49	0,064
C18	Stearins.	Octadecans.	8,32	0,225	7,81	0,358
C18:1 c9	Öls.	c9-Octadecens.	17,20	0,372	15,74	0,549
C18:1 t10-11		t10-11-Octadecens.	3,15	0,347	1,44	0,148
C18:2 c9c12	Linols.	c9,c12-Octadecadiens.	1,15	0,051	1,27	0,076
C20	Arachins.	Eicosans.	0,14	0,011	0,17	0,012
C20:1 c9	Gadoleins.	c9-Eicosens.	0,13	0,009	0,16	0,037
C18:3 c9c12c15	$\alpha$ -Linolens.	c9,c12,c15-Octadecatriens.	0,83	0,066	0,69	0,101

Legende: n = Anzahl Proben  $\bar{x}$  = Mittelwert  $s_x$  = Standardabweichung, -s. = säure

**Tab. 4. Zusammensetzung von Sommer- und Wintermilchfett: Minorfettsäuren (g Fettsäure pro 100 g Fett)** (Collomb und Bühler, 2000)

Fettsäure	Trivialname	Name nach IUPAC	Sommer (n=17)		Winter (n=17)	
			$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$
C5	Valerians.	Pentans.	0,02	0,002	0,02	0,006
C7	Önanths.	Heptans.	0,03	0,003	0,03	0,005
C14 iso		iso-Tetradecans.	0,24	0,008	0,24	0,014
C14:1 t	Myristelaidins.	t-Tetradecens.	0,01	0,001	0,01	0,003
C14 anteiso		anteiso-Tetradecans.	0,45	0,011	0,44	0,022
C14:1 c	Myristoleins.	c-Tetradecens.	0,86	0,024	0,88	0,051
C15 iso		iso-Pentadecans.	0,23	0,010	0,26	0,009
C16 iso		iso-Hexadecans.	0,36	0,011	0,30	0,020
C16:1 t	Palmitelaidins.	t-Hexadecens.	0,19	0,023	0,10	0,024
C16 anteiso		anteiso-Hexadecans.	0,73	0,031	0,61	0,072
C17 iso		iso-Heptadecans.	0,05	0,002	0,06	0,007
C17:1 t		t-Heptadecens.	0,02	0,002	0,01	0,005
C17 anteiso		anteiso-Heptadecans.	0,22	0,006	0,25	0,019
C18:1 t4		t4-Octadecens.	0,01	0,008	0,03	0,006
C18:1 t5		t5-Octadecens.	0,01	0,003	0,01	0,003
C18:1 t6-8		t6-8-Octadecens.	0,14	0,022	0,07	0,024
C18:1 t9	Elaidins.	t9-Octadecens.	0,27	0,043	0,22	0,037
C18:1 t12		t12-Octadecens.	0,19	0,054	0,15	0,012
C18:1 t13-14 + c6-8		t13-14- + c6-8-Octadecens.	0,59	0,047	0,37	0,055
C18:1 c11	Vaccens.	c11-Octadecens.	0,43	0,014	0,40	0,030
C18:1 c12		c12-Octadecens.	0,12	0,009	0,12	0,014
C18:1 c13		c13-Octadecens.	0,05	0,010	0,05	0,007
C18:1 c14+ t16		t16-+c14-Octadecens.	0,29	0,020	0,23	0,033
C19		Nonadecans.	0,10	0,023	0,08	0,016
C18:2 ttNMID		ttNMID-Octadecadiens.	0,16	0,014	0,07	0,010
C18:2 t9t12	Linoelaidins.	t9,t12-Octadecadiens.	0,02	0,003	0,01	0,003
C18:2 c9t13+(t8c12)		c9,t13-Octadecadiens.	0,26	0,010	0,15	0,015
C18:2 c9t12+(ccMID+t8c13)		c9,t12-Octadecadiens.	0,29	0,027	0,24	0,015
C18:2 t11c15+t9c12		t11,c15-Octadecadiens.	0,52	0,057	0,22	0,035
C18:2 c9c15		c9,c15-Octadecadiens.	0,04	0,004	0,04	0,004
C20:1 t		t-Eicosens.	0,04	0,003	0,04	0,028
C18:3 c6c9c12	$\gamma$ -Linolens.	c6,c9,c12-Octadecatriens.	0,01	0,002	0,01	0,004
C20:1 c5		c5-Eicosens.	0,01	0,002	0,01	0,001
C20:1 c11	Gondoes.	c11-Eicosens.	0,04	0,007	0,05	0,004
C18:2 c9t11	Rumens.	c9,t11-Octadecadiens.	1,44	0,170	0,64	0,073
C18:2 c9c11+t11c13		c9,c11- + t11c13-Octadecadiens.	0,09	0,012	0,04	0,011
C18:2 t9t11		t9,t11-Octadecadiens.	0,02	0,014	0,02	0,004
C20:2 c,c		Eicosadiens.	0,02	0,002	0,03	0,004
C22	Behens.	Docosans.	0,06	0,006	0,08	0,039
C20:3	Homo- $\gamma$ -Linolens.	Eicosatriens.	0,05	0,006	0,05	0,006
C20:3		Eicosatriens.	0,02	0,002	0,01	0,004
C20:4	Arachidons.	Eicosatetraens.	0,09	0,010	0,10	0,010
C20:5 c5c8c11c14,17		Eicosapentaens.	0,08	0,004	0,07	0,007
C22:5 c7c10c13c16c19		Docosapentaens.	0,11	0,005	0,10	0,006
C22:6 c4c7c10c13c16c19		Docosahexaens.	0,01	0,002	0,01	0,002

■ Chilliard Y.: Dietary fat and adipose tissue metabolism in ruminants, pigs and rodents: a review. *J. Dairy Sci.* **76**, 3897-3931 (1993).

■ Collomb M., Bühler T.: Analyse de la composition en acides gras de la graisse de lait. I. Optimisation et validation d'une méthode générale à haute résolution. *Trav. chim. alimen. hyg.* **91**, 306-332 (2000).

■ Collomb M., Bütikofer U., Sieber R., Bosset J.O., Jeangros B.: Conjugated linoleic acid and trans fatty acid composition of cows' milk fat produced in lowlands and highlands. *J. Dairy Res.* **68**, 519-523 (2001).

■ Collomb M., Bütikofer U., Sieber R., Jeangros B., Bosset J.O.: Correlation between fatty acids in cow's milk fat produced in Lowlands, Mountains and Highlands and botanical composition of the fodder. im Druck (2002).

■ Collomb M., Bütikofer U., Spahni M., Jeangros B.: Composition en acides gras et glycérides de la matière grasse du lait de vache en zones de montagne et de plaine. *Sci. Aliments*, **19**, 97-110 (1999).

■ Demeyer D., Doreau M.: Targets and procedures for altering ruminant meat and milk lipids. *Proc. Nutr. Soc.* **58**, 593-607 (1999).

**Tab. 5. Vorkommen von konjugierten Linolsäuren im Fett der auf verschiedenen Vegetationszonen produzierten Milch** (Collomb *et al.* 2001)

Verbindungen	Talgebiet 600 – 650 m (n = 11)		Berggebiet 900 – 1210 m (n = 12)		subalpines Gebiet 1275 – 2120 m (n = 21)	
	$\bar{x}$	Bereich	$\bar{x}$	Bereich	$\bar{x}$	Bereich
C18:2 c9t11	0,81 <sup>c</sup>	0,66 – 1,02	1,50 <sup>B</sup>	1,22 – 1,74	2,18 <sup>A</sup>	1,78 – 2,56
∑ CLA	0,87 <sup>c</sup>	0,71 – 1,08	1,61 <sup>B</sup>	1,32 – 1,86	2,36 <sup>A</sup>	1,92 – 2,87

Legende: n = Anzahl Proben

$\bar{x}$  = Mittelwert, A>B>C = signifikant verschieden, p > 0,05

CLA = konjugierte Linolsäure; Summe der Isomeren C18:2 c9t11, c9c11, t9t11

■ Grummer R.R.: Effect of feed on the composition of milk fat. *J. Dairy Sci.* **74**, 3244-3257 (1991).

■ Hadorn H., Zürcher K.: Universal-Methode zur gas-chromatographischen Untersuchung von Speisefetten und Ölen. *Dt. Lebensm.-Rdsch.* **66**, 77-87 (1970).

■ Jenkins T.C.: Lipid metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.* **76**, 3851-3863 (1993).

■ MacDonald H.B.: Conjugated linoleic acid and disease prevention: A review of current knowledge. *J. Amer. Coll. Nutr.* **19**, 111S-118S (2000).

■ Sieber R.: Konjugierte Linolsäuren in Lebensmitteln: eine Übersicht. *Ernährung* **19**, 265-270 (1995).

■ Sieber R., Badertscher R., Bütikofer U., Collomb M., Nick B.: Beitrag zur Kenntnis der Zusammensetzung von schweizerischer Butter. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **89**, 84-96 (1998).

■ Sieber R., Badertscher R., Bütikofer U., Nick B.: Beitrag zur Kenntnis der Zusammensetzung von schweizerischer pasteurisierter und ultraheizerhitzter Milch. *Mitt. Lebensm. Hyg.* **90**, 135-148 (1999).

## RÉSUMÉ

### Structure chimique et composition en acides gras de la matière grasse du lait

La matière grasse du lait est constituée d'environ 400 acides gras différents. Ces derniers peuvent provenir directement de la matière grasse du fourrage et des tissus adipeux de la vache ou par biohydrogénation dans la panse ainsi que par biosynthèse dans la glande mammaire. Les méthodes officielles actuelles permettent de doser environ 20 acides gras de la graisse de lait, les résultats étant exprimés en pourcentage relatif. Une méthode plus moderne développée à la FAM permet de déterminer en valeurs absolues (g d'acides gras par 100 g de matière grasse) environ 70 acides gras de la graisse de lait. Cette amélioration analytique a permis d'acquérir des connaissances nouvelles sur les modifications de la composition de la matière grasse du lait en fonction de l'affouragement.

## SUMMARY

### Chemical structure and composition of fatty acids in milk fat

Milk fat contains approximately 400 different fatty acids. They can originate directly from the fat of the foodstuffs or the animal tissue, formed either by biohydrogenation in the rumen of the cow or synthesised in the mammary gland. At the present time, the official methods for the determination of fatty acid composition in milk fat allow the determination of approximately 20 fatty acids and the results are expressed as relative percentages. A more modern method which allows the determination of approximately 70 fatty acids and where the results are expressed in absolute values (grams of fatty acid per 100 g fat) has been developed at the FAM. This analytical improvement has yielded new knowledge concerning the modification of milk fat in relation to foodstuffs.

**Key words:** milk fat, fatty acid, composition