

Gehalte von trans-Fettsäuren in Lebensmitteln*

A. Pfalzgraf, M. Timm und H. Steinhart

Institut für Biochemie und Lebensmittelchemie der Universität Hamburg

Amounts of trans fatty acids in foods

Zusammenfassung: Die Fettsäurezusammensetzung von 197 Lebensmitteln wurde gaschromatographisch untersucht. Cis- und trans-isomere Fettsäuren wurden auf einer mit CPTMSil88 belegten 30 m Kapillarsäule getrennt. In Milch und Milchprodukten lagen die ermittelten Gehalte an trans-isomeren Fettsäuren zwischen 1,9 und 7,9 %. Im Fleisch von Wiederkäuern wurden 2,0–10,6 % trans-isomere Fettsäuren gefunden. Im Schweinefleisch lagen die Gehalte unter 0,5 %. Entsprechend der überwiegenden Verwendung von Schweinefleisch wiesen Fleischwaren mit Ausnahme der allein aus Rindfleisch hergestellten Produkte niedrige trans-Fettsäuregehalte von kleiner 1 % auf. Die trans-Fettsäuregehalte von Lebensmitteln aus Produktgruppen, in denen gehärtete Pflanzenfette eingesetzt werden, zeigten Gehalte zwischen 0 und 34,9 %. Lebensmittel mit hohen trans-Fettsäuregehalten enthielten geringere Anteile gesättigter Fettsäuren.

Summary: The fatty acid composition of the fat in 197 food samples has been analyzed by gas liquid chromatography. The use of a 30 m capillary column coated with CPTMSil88 permitted the separation of the cis and trans isomers. The trans fatty acid content of milk and milk products ranged from 1.9 to 7.9 %. Meat samples from ruminants contained 2.0–10.6 % trans fatty acids. In pork fat the amounts were less than 0.5 %. Sausages and other meat products contained high levels of pork fat. Therefore these samples contained less than 1 % trans fatty acids, with the exception of some pure beef products. The amounts of trans fatty acids in foods which may contain hydrogenated oils ranged from 0 to 34.9 %. In food samples with high levels of trans fatty acids lower contents of saturated fatty acids were analyzed.

Schlüsselwörter: Fettsäuren – trans-Fettsäuren – Lebensmittel – Gaschromatographie

Key words: Fatty acids – trans fatty acids – food – gas liquid chromatography

Abkürzungen:

BHT	2,6-Di-tert-butyl-p-kresol	MUFS	monungesättigte Fettsäuren
DC	Dünnschichtchromatographie	n.d.	nicht deklariert
FID	Flammenionisationsdetektor	p.	pflanzliches Fett/Öl
FSME	Fettsäuremethylester	PUFS	polyungesättigte Fettsäuren
g.	gehärtetes, teilgehärtetes, zum Teil gehärtetes Fett	Sp	Spur, Gehalt < 0,1 %
GFS	gesättigte Fettsäuren	t.	tierisches Fett/Öl
HPTLC	High Performance Thin Layer Chromatography	TFS	trans-isomere Fettsäuren, einschließlich der geometrischen cis-trans Linolsäureisomere
i.D.	innerer Durchmesser		

* Herrn Prof. Dr. agr. Dr. med. vet. h.c. Dr. agr. h.c. mult. M. Kirchgeßner zum 65. Geburtstag gewidmet.

Einleitung

Trans-Fettsäuren unterscheiden sich in ihrer physiologischen Bedeutung von den cis-Isomeren (12). Insbesondere zur abschätzenden Beurteilung einer Diät bezüglich der Wirkung auf die Lipoproteingehalte im Plasma ist eine Differenzierung zwischen cis- und trans-Fettsäuren erforderlich (6). Ein direkter Zusammenhang zwischen der Aufnahme von trans-Fettsäuren und dem Herzinfarktrisiko (27, 28) wird diskutiert. Diese Diskussion sollte nicht ohne die Kenntnis der aktuellen Gehalte an trans-Fettsäuren in Lebensmitteln geführt werden. Angaben über die Gehalte an trans-Fettsäuren in Lebensmitteln, die in Deutschland vertrieben werden, liegen nur vereinzelt vor (7, 11, 14) und sind zum Teil älteren Datums. Die Ergebnisse amerikanischer (5, 8, 23) oder anderer ausländischer Untersuchungen (3, 18, 30) sind nicht ungeprüft auf deutsche Verhältnisse übertragbar. Die verschiedenen für die Lebensmittelproduktion verwendeten Rohstoffe können zu unterschiedlichen Gehalten an trans-Fettsäuren führen. Trans-Fettsäuren entstehen bei der Hydrierung mehrfach ungesättigter Fettsäuren. Dieser Prozeß verläuft mikrobiologisch im Pansen der Wiederkäuer oder großtechnisch bei der Härtung von pflanzlichen Ölen. Danach können trans-fettsäurehaltige Lebensmittel in zwei Gruppen eingeteilt werden: Von Wiederkäuern stammende tierische Lebensmittel und Lebensmittel, die gehärtete Pflanzenfette enthalten. Die Auswahl der Lebensmittel sollte alle Lebensmittelgruppen berücksichtigen, in denen solche Produkte eine Rolle spielen. Dabei wurden nicht nur Lebensmittel untersucht, die trans-Fettsäuren erwarten ließen, sondern auch Produkte bei denen entsprechend der Deklaration keine gehärteten oder tierischen Fette eingesetzt wurden. Anhand der durchgeführten Analysen sollte ein möglichst umfassender Überblick über die Gehalte an trans-Fettsäuren in Lebensmitteln gewonnen werden.

Material und Methoden

Es wurde die Fettsäurezusammensetzung von 197 Lebensmitteln nach Umesterung der Fette kapillargaschromatographisch bestimmt. Die untersuchten Lebensmittel waren, soweit nicht anders angegeben, handelsübliche Produkte. Sie wurden in der Zeit von April bis September 1992 erworben und untersucht. Die Lebensmittel wurden in neun Gruppen eingeteilt, die in Tabelle 1 zusammengestellt sind.

Tab. 1. Untersuchte Lebensmittelgruppen

Milch und Milchprodukte
Fleisch und Fleischprodukte
Pflanzenöle, Margarinen, Brat- und Backfette
Snacks
Pommes frites
Backwaren
Süßwaren
Instantsuppen und -soßen
sonstige Lebensmittel

Probenvorbereitung

Fette und Öle wurden direkt umgeestert. Aus Butter- und Margarineproben wurde das Fett durch Schmelzen und Zentrifugieren gewonnen. Süßwaren und Backwaren wurden zerkleinert und in der Soxhlet-Apparatur drei Stunden mit n-Hexan extrahiert. Wasserhaltige Lebensmittel wie Fleisch, Fleischwaren, Milch, Milchprodukte, Eier und Fische wurden vor der Extraktion des Fettes gefriergetrocknet.

Umesterung

Ca. 200 mg Fett wurden in 5 ml n-Hexan gelöst. Durch Zugabe von 200 µl 2 m methanolischer KOH wurde das Fett umgeestert. Nach 8 min wurde mit 250 µl 2 m HCl angehäutert. 600 µl der organischen Phase wurden mit 3 ml einer Lösung von 10 mg 2,6-Di-tert-butyl-p-kresol/100 ml n-Hexan verdünnt.

Gaschromatographie

Von jeder Probe wurde mindestens zweimal 1 µl der nach Umesterung erhaltenen FSME-Lösung in einen Perkin Elmer F 42 Gaschromatographen eingespritzt und auf einer 30 m x 0,25 mm i.D. fused silica Säule vom Typ CPTTMSil88 (100 % Cyanopropyl) die Fettsäuren getrennt und mit einem FID detektiert. Als Trägergas diente Helium. Die Probe wurde im Splitmodus mit einem Splitverhältnis von 1 : 20 injiziert. Zur Trennung der Fettsäuren wurden je nach Art des untersuchten Fettes verschiedene Temperaturprogramme verwendet:

- I: 110°C 4 min isotherm mit 15°/min ad 180°C 4 min isotherm mit 2°/min ad 220°C 4 min isotherm,
II: 135°C 4 min isotherm mit 10°/min ad 180°C 8 min isotherm mit 4°/min ad 220°C 8 min isotherm,
III: 165°C 4 min isotherm mit 1°/min ad 180°C 0 min isotherm mit 4°/min ad 220°C 8 min isotherm.

Die Identifizierung erfolgte anhand von FSME-Standards der Firma Sigma (Deisenhofen) über die Retentionszeiten. Die cis-trans Isomere der Linol- und Linolensäure konnten nicht käuflich erworben werden. Sie wurden durch Isomerisierung der Linol- und Linolensäure mit p-Toluolsulfinsäure gewonnen (24) und konnten mittels Silberionen-Dünnschichtchromatographie weiter voneinander getrennt werden. Die Fettsäuregehalte wurden nach der 100 %-Methode mit anhand eines Standardgemisches ermittelter Korrekturfaktoren bestimmt. Die vollständige Trennung von cis- und trans-Isomeren wurde mittels Silberionen-Dünnschichtchromatographie überprüft.

Silberionen-Dünnschichtchromatographie

HPTLC-Fertigplatten (Kieselgel 60 F254, 10 x 10 cm, mit Konzentrierungszone der Firma Merck, Darmstadt) wurden dynamisch mit einer 10 %igen Silbernitratlösung in Acetonitril imprägniert (1). 15 µl der nach Umesterung erhaltenen FSME-Lösung wurden auf die frisch imprägnierte, getrocknete Platte aufgetragen und mit Toluol/n-Hexan (1 : 1, V : V) bis zur Silbergrenze entwickelt. Nach Besprühen mit 0,2 %iger ethanischer Dichlorfluorescinslösung wurden die Fettsäuren unter UV-Licht als gelbe Flecken auf rotem Grund sichtbar. Zur Vorbereitung für die gaschromatographische Auftrennung wurden die Banden markiert, ausgekratzt und dreimal mit je 1 ml Chloroform/n-Hexan (1 : 1, V : V) die FSME extrahiert. Das Lösungsmittel wurde im Stickstoffstrom entfernt. Die FSME wurden in 0,1 ml n-Hexan gelöst und qualitativ gaschromatographisch untersucht.

Ergebnisse

Methodik

Mit der verwendeten Trennsäule wurden trans-Isomere vollständig von den entsprechenden cis-Isomeren getrennt. Positionsisiomere Fettsäuren unterschieden sich in ihren Retentionszeiten. Je näher eine Doppelbindung zum Methylenende der Fettsäure positioniert ist, desto später eluierte die Fettsäure. Die vollständige Auftrennung von Fettsäuren mit nachbarständigen Doppelbindungen war nicht möglich. Über das Auftreten der verschiedenen trans-Octadecensäureisomere konnten qualitative Aussagen getroffen werden. Quantitativ wurden sie als Summe berechnet. Trennprobleme von trans- und cis-Octadecensäuren mit unterschiedlichen Positionen der Doppelbindungen traten bei den untersuchten Proben nicht auf. Die geometrischen Isomere der Linolsäure, C18:2(9trans, 12trans), C18:2(9cis, 12trans) und C18:2(9trans, 12cis) wurden getrennt und quantifiziert. Aufgrund der zumeist sehr niedrigen Gehalte dieser Isomeren in den Lebensmitteln wurden die Gehalte als Summe der Isomeren C18:2*i* angegeben. Abbildung 1 zeigt die Trennung der Fettsäuren anhand des Chromatogramms einer Probe Sahne. Nicht erfaßt wurden die konjugierten Linolsäureisomere. Die geometrischen Isomere der Linolensäure waren in den untersuchten Proben nicht nachweisbar.

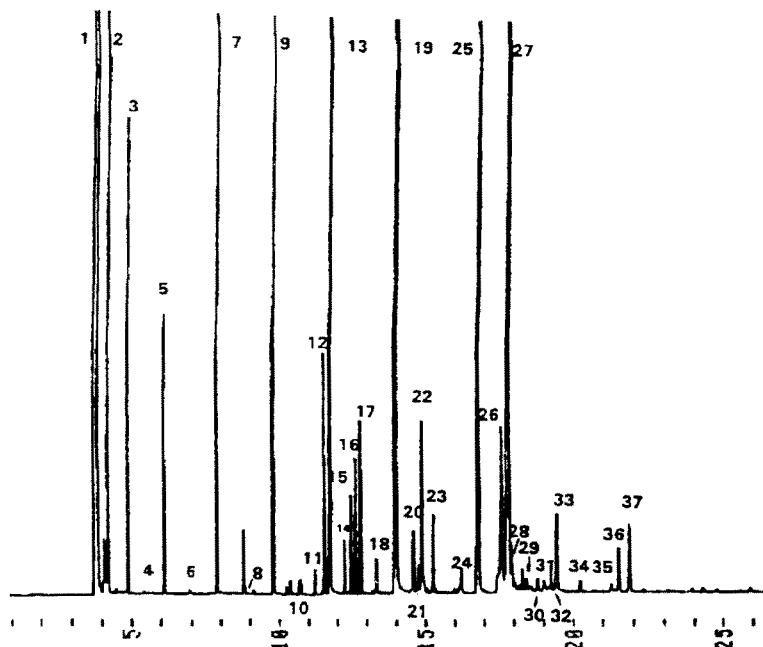


Abb. 1. Chromatogramm der FSME einer Probe Sahne. Identifikation der Peaks:

- 1, Lösungsmittel; 2, 4 : 0; 3, 6 : 0; 4, 7 : 0; 5, 8 : 0; 6, 9 : 0; 7, 10 : 0; 8, 11 : 0; 9, 12 : 0; 10, 13 : 0; 11, 130 Me;
- 12, BHT; 13, 14 : 0; 14, 14 : 0 Me; 15, 14 : 0 Me; 16, 14 : 1 cis; 17, 15 : 0; 18, 15 : 0 Me; 19, 16 : 0; 20,
- 16 : 1 trans; 21, 16 : 0 Me; 22, 16 : 1 cis; 23, 17 : 0; 24, 17 : 1 cis; 25, 18 : 0; 26, 18 : 1 trans 11; 27, 18 : 1 cis 9;
- 28, 18 : 1 cis 11; 29, 19 : 0; 30, 18 : 2 trans 9, trans 12; 31, 18 : 2 cis 9, trans 12; 32, 18 : 2 trans 9, cis 12; 33,
- 18 : 2 cis 9, cis 12; 34, 20 : 0; 35, 20 : 1; 36, 18 : 3; 37, unbekannt.

Tab. 2. Fettsäureverteilung der untersuchten Lebensmittel berechnet als Gewichtsprozent der Methylester

Lebensmittel	12	14	16	16:1t	16:1c	18	18:1t	18:1c	18:2t	18:3c	sonstige	GFS	TFS	MUFS	PUFS
Gruppe 1: Milch und Milchprodukte															
Milch:															
1. Rohmilch	4,9	11,9	27,7	0,6	1,9	9,6	2,3	17,2	0,3	1,1	0,5	22	69,9	3,2	20,4
2. H-Milch	3,9	11,3	26,6	0,6	2,1	9,8	2,5	18,9	0,3	1,1	0,6	22,3	67,8	3,4	22,2
3. Vollmilch	3,8	10,9	26,2	0,6	2	10,1	2,7	20	0,4	1,1	0,5	21,7	66,3	3,7	23,2
4. Vollmilch	3,1	9,2	24,5	0,7	2	11,7	4	23,9	0,8	1,3	0,7	18,1	59,4	5,5	27
5. Rohmilch	4,4	11,4	31,6	0,5	2,2	8,6	1,6	18,9	0,3	1,2	0,3	19	68,8	2,4	22,5
Butter:															
6.	4,3	12,2	30,3	0,5	2,3	8,7	1,5	18,9	0,5	1,4	0,3	19,1	69,9	2,5	22,3
7.	4,4	12	29	0,5	2,2	9	1,7	19,1	0,6	1,2	0,5	19,8	69,2	2,8	22,3
8.	5,6	13,6	29	0,5	2,1	7,9	1,4	15,9	0,5	1	0,5	22	73,2	2,4	19,2
9.	3,3	9,7	24,6	0,7	2	11,8	3,5	23,1	0,8	1,2	0,7	18,6	61	5	26,2
10.	3,4	6,6	21,4	0,8	1,8	12,6	6,3	22,6	0,8	1,2	1	21,5	57,2	7,9	25,3
Käse:															
11. Parmesan	4,1	12,7	29,5	0,6	1,9	8,3	2,1	18	0,2	1,7	0,6	20,3	69,3	2,9	20,9
12. Emmentaler	5,1	14,8	30,3	0,5	2,1	6,4	1,7	14,6	0,3	1	0,9	22,3	73,2	2,5	18
13. Chester	4,6	13,3	29,8	0,5	1,9	8,8	1,8	16,3	0,2	1,2	0,4	21,2	72,4	2,5	19,3
14. Edamer	5,6	13,4	30,2	0,4	2,2	7,9	1,2	16,6	0,1	1,3	0,5	20,6	72,7	1,7	20
15. Gouda	6,5	14,7	30,7	0,4	2	7,1	1	14,4	0,1	1,1	0,4	21,6	75,3	1,5	17,7
16. Tilsiter	4,1	11,6	29,8	0,4	1,9	9,4	2,3	20	0,1	1,8	0,3	18,3	68,8	2,8	22,9
17. Butterkäse	4,4	12,5	29	0,6	2,1	8,4	2,5	18	0,3	1,4	0,7	20,1	68,6	3,4	21,4
18. Limburger	4,3	12,9	31,1	0,5	2,3	7,9	1	18,9	0,1	1,4	0,4	19,2	70,1	1,6	22,3
19. Münsterkäse	5	13,2	31,3	0,5	2,2	7,6	1,3	17,7	0,2	1,1	0,4	19,5	71,3	2	21,2
20. Schnellkäse	5,6	13,6	28,4	0,5	2,1	7,3	1,7	16,3	0,2	1,1	0,5	22,7	71,6	2,4	19,7
21. Schnellkäsezubereitung	3,1	9,2	25	0,7	1,9	11,7	3,7	21,9	0,4	1,4	0,7	20,3	62,9	4,8	24,8

Tab. 2. Fettsäureverteilung der untersuchten Lebensmittel berechnet als Gewichtsprozent der Methylester

Lebensmittel	12	14	16	16:1t	16:1c	18	18:1t	18:1c	18:2c	18:3c	sonstige	GFS	TFS	MUFS	PUFS
Weitere Käse:															
22. Camembert	3,4	9,8	27	0,6	2	11,7	2,5	21,9	0,2	1,4	0,4	19,1	65,4	3,3	25
23. Brie	3,6	10,4	24,3	0,7	1,8	10,5	4,3	19,6	0,4	1,2	0,7	22,5	63,9	5,4	22,6
24. Henri	3,4	10,5	26,8	0,6	1,9	10,7	2,7	19,7	0,3	1,4	0,5	21,5	66,4	3,6	22,8
25. Bavaria blue	3,6	11,3	31	0,5	2	9,5	1,8	18,9	0,2	1,2	0,5	19,5	69,6	2,5	21,9
26. Roquefort	5,9	11,7	26,1	0,4	1,1	7,7	1,8	13,5	0,2	2	1,2	28,4	75,1	2,4	14,8
27. Frischkäse Zubereitung	4,1	11,3	30,7	0,4	2	9	1,3	17,7	0,4	1,5	0,4	21,2	70,8	2,1	21
28. Gorgonzola	3,2	9,9	26,6	0,5	1,7	11,9	2,8	21,4	0,2	2,4	0,4	19	64,5	3,5	24,1
29. Mozzarella	3,4	10,2	25,4	0,7	2	11,5	3	21,5	0,4	1,1	0,6	20,2	64,1	4,1	24,6
30. Küstenkäse	3,5	10,5	25,4	0,7	2	10,8	2,9	21,1	0,4	1,1	0,6	21	64,1	4	24,3
31. Speisequark	3,3	10	27,2	0,6	2,2	10,9	2,6	21,6	0,3	1,3	0,5	19,5	64,8	3,5	24,9
32. Blauschimmelkäse	3,9	10,9	27,8	0,6	1,9	9,7	2,9	18,7	0,3	1,6	0,6	21,1	66,9	3,8	21,6
Ziegenkäse															
33. Hartkäse	2,5	8,4	26,1	0,6	0,9	12,5	3,1	21,7	0,2	1,6	0,6	21,8	66,8	3,9	22,8
34. Frischkäse	4,5	9,5	24,4	0,5	0,9	10,8	1,5	18,6	0,4	1,7	0,7	26,5	71,8	2,4	19,6
Schafkäse:															
35. deutscher Feta	4,5	10,9	22,4	0,7	1,3	9,5	3,3	17,1	0,7	1,7	1	26,9	68,6	4,4	18,7
36. griechischer Feta	4,8	10,1	20,4	0,8	1,3	7,2	5,1	14	1,6	1,9	1,4	31,4	65,4	7,5	15,5
37. griechischer Feta	3,6	9,3	23,2	0,6	1,1	11,2	3,4	17,7	0,9	1,9	1,5	25,6	66,5	4,9	19
Weitere Milchprodukte:															
38. Kondensmilch	4,5	11,1	24,8	0,6	1,8	10,4	2,6	19,4	0,3	1,2	0,6	22,7	67,4	3,5	22,3
39. Schlagsahne	3,7	10,7	24,8	0,7	2	10,6	3,1	20,5	0,4	1	0,6	21,9	65,1	4,2	23,7
40. Saurer Sahne	3,7	10,8	25	0,7	1,9	10,5	2,9	20,5	0,4	1	0,6	22	64,9	4	23,6
41. Sahnejoghurt	3,4	10,4	26,7	0,6	2,2	10,8	2,4	21,1	0,3	1,2	0,6	20,3	65,7	3,3	24,4
42. Dickmilch	3,7	10,6	26,8	0,6	2,1	10,4	2,2	20,3	0,3	1,2	0,5	21,3	66,9	3,1	23,6

Tab. 2. Fettsäureverteilung der untersuchten Lebensmittel berechnet als Gewichtsprozent der Methylester

Lebensmittel	12	14	16	16:1t	16:1c	18	18:1t	18:1c	18:2t	18:3c	sonstige	GFS	TFS	MUFS	PUFS
Weitere Milchprodukte:															
43. Vanilleeis (lose)	3,1	9,2	26,2	0,7	2,1	11,4	2,3	24,5	0,5	3,2	0,5	16,3	61	3,5	27,6
44. Vanilleeis (abgepackt)	3,7	10,7	29,5	0,5	2	11,3	1,8	19,5	0,2	1,5	0,4	18,9	68,8	2,5	22,6
Gruppe 2: Fleisch und Fleischprodukte															
Kalbfleisch:															
45. Filet	1	6,5	24,7	0,2	4,4	10,5	0,7	40,5	—	7,3	0,7	3,5	43,7	0,9	45,7
46. Filet	1,4	8,7	20,7	0,4	4,1	9,8	1,3	34,9	Sp	8,9	0,8	9	42	1,7	40,5
47. Nacken	1,4	11,1	24,1	0,4	4,3	9,1	0,9	35,4	0,2	5,9	1	6,2	47,1	1,5	41,5
Rindfleisch und Tagf:															
48. Filet	0,1	3,7	30	0,5	2,9	19,3	2,4	32,6	—	2	0,4	6,1	55,1	3,2	36
49. Rücken	0,1	4,5	27,6	0,5	4,2	15,6	2,4	36,7	0,3	1,4	0,7	6	49,6	3,2	41,5
50. Filet	Sp	3,3	27,9	0,5	3,4	16,7	1,6	38,5	0,1	1,4	0,4	6,2	50,1	2,1	42,4
51. Rinderhack	0,1	4,2	25,7	0,6	6,8	11,8	1,6	39,3	0,2	1,3	0,6	7,8	43,5	2,4	47,5
52. Rindertalg	0,1	3,2	26,9	0,4	2,8	24,4	1,4	32,5	0,2	1,3	0,5	6,3	56,2	1,9	35,3
Lammfleisch:															
53. Filet	0,2	2,9	24,3	0,5	1,2	19,2	5,2	29,7	0,9	3,2	2,2	10,5	48,8	6,6	30,9
54. Filet	0,1	2,4	19,8	0,8	1,6	23,8	7	31,2	0,9	1,7	1,5	9,2	48,6	8,8	32,8
55. Keule	1,1	8,3	20,7	1	2	15,5	5,6	29,7	0,6	1,6	1,6	12,3	48,7	7,2	31,9
Schafffleisch:															
56. Keule	0,1	2	21	0,6	3	17,7	2,2	39,9	0,4	3,5	0,9	8,7	42,7	3,2	43,6
Hammelfleisch:															
57. Kotlett	0,9	7,1	22,8	1	2,5	11,6	6	30,9	1,2	1,9	1,8	12,3	45,3	8,2	33,8

Tab. 2. Fettsäureverteilung der untersuchten Lebensmittel berechnet als Gewichtsprozent der Methylester

Lebensmittel	12	14	16	16:1t	16:1c	18	18:1t	18:1c	18:2t	18:3c	sonstige	GFS	TFS	MUFS	PUFS
Weiter Hammelfleisch:															
58. Auflagenfett	1,3	8,6	24,7	1,1	2,1	13,8	7	27,1	1	1,5	1,4	10,4	50	9,1	29,6
59. Kotletti	0,3	3,1	25,4	0,8	1,5	24,2	8,9	29,7	0,9	1,6	1,4	2,2	47,8	10,6	31,3
Schweinefleisch und Schmalz:															
60. Filet	0,2	2,3	28,5	—	3,7	13,2	0,2	44,6	—	4,4	0,8	2,1	45,1	0,2	48,3
61. Bauchspeck	0,1	2,2	24,7	Sp	2,1	14	0,4	41,2	Sp	11	1,6	2,7	41,7	0,4	43,3
62. Schmalz	0,1	1,8	25,4	Sp	2,3	13,6	0,4	40,8	Sp	10,6	1,1	3,9	41,7	0,4	44
Geflügel:															
63. Hähnchenbrust	0,2	0,9	20,7	0,1	3	8	0,3	37,9	0,1	21,4	2,5	4,9	30,5	0,5	41,5
64. Entenbrust	Sp	1,2	17,4	—	1,3	12,5	0,5	28,6	—	14,7	1,4	22,4	32	0,5	30,8
65. Ente Auflagenfett	Sp	0,7	21,2	0,1	1,9	8,8	0,4	48,5	0,2	14,3	1,1	2,8	31,5	0,7	27,8
66. Putenbrust	0,9	1	16,8	0,1	0,9	7,1	1,2	30,7	0,1	32	4	5,2	26,7	1,4	15,7
67. Wildtaube	Sp	0,5	21,8	Sp	7,3	8,8	0,2	43,3	Sp	15,1	0,7	2,3	31,2	0,2	32,1
Kaninchen:															
68. Kanincheneber	0,1	1	20,9	0,1	0,9	17,3	0,3	15,4	Sp	26,1	2,1	15,8	40,7	0,4	38,3
Pferd:															
69. Pferdeglasch	0,3	5,3	30,2	Sp	13	3,4	0,2	33,5	Sp	7	1,6	5,5	39,7	0,2	48
Känguru:															
70. Muskelfleisch	0,1	1,6	18,5	1,1	2,3	16	7,9	31,1	0,8	4,7	2,6	13,3	39,1	9,8	33,7
Schinken:															
71. gekocht	0,2	1,8	25,2	Sp	2,6	11,7	0,2	45	—	8,4	1	3,9	39,7	0,2	48,7
72. geräuchert	0,3	2	22,3	0,1	3,2	10	0,4	43,6	Sp	12	1,4	4,7	35,4	0,5	47,7

Tab. 2. Fettsäureverteilung der untersuchten Lebensmittel berechnet als Gewichtsprozent der Methylester

Lebensmittel	12	14	16	16:1t	16:1c	18	18:1t	18:1c	18:2i	18:2c	18:3c	sonstige	GFS	TFS	MUFS	PUEFS
Weitere Fleischprodukte:																
Cornedbeef: 73.	0,1	2,2	23	0,4	3,5	14,5	1,9	41	0,2	5,7	0,9	6,6	41,3	2,5	45,5	7,4
Rohwurst:																
74. Rindersalami	0,1	3	26	0,5	4,7	15,3	2,6	37,5	0,3	1,3	0,4	8,3	46,5	3,4	43,6	1,7
75. Salami	0,1	1,5	24,8	Sp	2,6	12,8	0,5	42	Sp	9,6	0,9	5,2	40	0,5	46	11,9
76. Salami	0,1	1,4	23,4	0,1	2,2	12,7	0,5	41	Sp	12,1	1,1	5,4	38,5	0,6	44,7	14,9
77. Salami	0,2	1,6	25,1	0,1	2,7	12,9	0,5	42,4	Sp	8,8	0,9	4,8	40,6	0,6	46,5	10,9
78. Cervelatwurst	0,1	1,6	26,5	Sp	2,5	15,6	0,4	42	Sp	7,3	0,7	3,3	44,5	0,4	45,5	8,7
Kochwurst:																
79. Mettwurst, gekocht	0,1	1,6	24,2	Sp	2,7	13	0,2	45	Sp	8,9	1,7	2,6	39,4	0,2	47,7	11,6
80. Zwiebelwurst, gekocht	0,1	1,5	24,4	Sp	2,5	13,8	0,2	43,8	Sp	9,4	1,7	2,6	40,4	0,2	46,3	12
81. Bauernleberwurst	0,1	1,9	22,5	0,1	2,4	13,3	0,5	44,2	Sp	9,9	1,9	3,2	38,4	0,6	46,6	13,1
82. Zwiebelwurst, gekocht	0,2	2,5	23,7	0,1	2,7	12,5	0,4	43	Sp	9,9	1,8	3,2	39,6	0,5	45,7	12,8
83. Blutwurst	0,3	1,8	23,4	0,1	2,3	12,2	0,6	41,1	Sp	11,8	1	5,4	38,5	0,7	44,4	14,8
Brühwurst:																
84. Jagdwurst	0,2	1,5	22,9	Sp	2,6	12	0,5	43,1	Sp	12	2,1	3,1	37,2	0,5	45,7	15,2
85. Lyoner	0,1	1,5	24	Sp	2,4	13,2	0,3	44,1	Sp	9,5	1,9	3	39,4	0,3	46,5	12,5
86. Mortadella	0,2	1,5	22,4	Sp	2,6	11,8	0,3	45,6	Sp	10,5	2	3,1	36,5	0,3	48,2	13,7
87. Bierwurst	0,1	1,5	24,1	Sp	2,3	14,4	0,2	42,5	Sp	9,7	2	3,2	40,8	0,2	44,8	12,9
88. Schinkenwurst	0,2	2,4	22,3	0,1	2,5	12,1	0,6	43,8	Sp	10,5	2,1	3,4	37,6	0,7	46,3	13,7
89. Wurst	0,1	1,5	23,6	0,1	2,9	13,3	0,5	43,1	Sp	9,3	1	4,6	39,3	0,6	47,1	11,4
90. Wurst	0,1	1,4	22,6	0,1	2,6	11,3	0,4	43,7	Sp	12,1	0,9	4,8	36,1	0,5	47,4	14,2
91. Wurst	0,1	1,5	23,8	Sp	2,8	12,5	0,4	43,8	Sp	9,9	1	4,2	38,6	0,4	47,5	12,1
92. Leberkäse	0,1	1,4	21,4	Sp	2,5	11,3	0,9	42	0,1	13,4	1,6	5,3	35	1	45,4	16,8

Tab. 2. Fettsäureverteilung der untersuchten Lebensmittel berechnet als Gewichtsprozent der Methylester

Lebensmittel	12	14	16	16:1t	16:1c	18	18:1t	18:1c	18:2t	18:2c	18:3c	sonstige	GFS	TFS	MUFS	PUFS
Weitere Fleischprodukte:																
93. Bierschinken	0,1	1,7	23,2	0,1	2,9	13,2	0,7	43	Sp	9,5	1	4,6	39	0,8	47	11,6
94. Bockwurst	0,2	1,8	22,9	0,2	2,8	12,9	1,1	40,9	0,2	9,9	1,4	5,7	38	1,5	45,1	12,8
Pferdewurst:																
95.	0,2	2,5	26,3	0,1	3,9	11,7	0,4	38,8	Sp	9,5	2,7	3,9	41,6	0,5	43,8	13
Gruppe 3: Margarinen, Brat- und Backfette, Pflanzenöle:																
Margarinen:																
96. n.d.	0,1	0,1	2,5	-	Sp	10,6	22,8	25,5	0,7	31,2	0,1	6,4	14,7	23,5	25,7	31,5
97. g.p.	4,8	2,1	20,4	-	0,1	5,3	5,7	32,5	0,2	21,5	0,3	7,1	35	5,9	36,3	21,8
98. g.p.	4,6	2	20,7	-	0,1	5,3	5,6	32,8	0,3	21,6	0,3	6,7	34,8	5,9	36,5	21,9
99. g.p.	0,6	0,5	18,2	-	0,1	6,2	7,7	39,2	0,1	19,3	0,6	7,5	26,8	7,8	45,1	19,9
100. g.p.	0,1	0,1	6,7	-	Sp	9,8	23	24,6	0,4	28,5	Sp	6,8	18,1	23,4	24,7	28,7
101. g.p.t.	3,5	1,6	21,4	-	0,1	6,5	8,3	33,2	0,2	18,8	0,4	6	34,4	8,5	37,1	19,2
102. g.p.	4,7	2,1	21,1	-	0,1	5	6,6	33,3	0,4	20	0,3	6,4	35,1	7	37	20,3
103. g.p.	4,4	2	20,7	-	0,1	4,8	5,7	32,9	0,3	22,7	0,3	6,1	34,1	6	36,3	23
104. p.g.t.	0,9	0,9	25,4	-	0,2	4,4	3,5	44,4	0,5	13,3	3,5	3	32,5	4	45,3	17
105. g.t.	0,6	0,6	24,2	0,1	0,1	5,9	5,5	33,8	0,7	23,8	2,9	1,8	32,3	6,3	34,7	26,7
106. p.g.t.	0,1	1,2	14,3	0,3	0,3	9,2	10,8	21,9	0,9	33	3,6	4,4	27	12,9	22,9	36,6
107. g.t.	0,1	0,2	8,5	Sp	11,9	17,1	25,6	1,7	33,1	0,2	1,6	22,2	18,8	25,8	33,3	
Diät- und Halbfettsmargarinen:																
108. g.p.	7,8	3,2	19,4	-	0,1	5,5	3,5	25,3	0,1	27,5	0,1	7,5	39,5	3,6	28,9	27,6
109. p.	4,8	1,8	25	-	0,1	4,2	0,4	24,6	0,7	32,4	3,1	2,9	37,5	1,1	24,8	35,5
110. p.	3,8	1,4	13	-	0,1	7,8	0,1	23	0,5	47,8	0,1	2,4	28,1	0,6	23,2	47,9
111. p.	3	1,1	9,1	-	0,1	8,1	0,5	16,8	0,5	58,8	0,2	1,8	22,8	1	17	59

Tab. 2. Fettsäureverteilung der untersuchten Lebensmittel berechnet als Gewichtsprozent der Methylester

Lebensmittel	12	14	16	16:1t	16:1c	18	18:1t	18:1c	18:2t	18:3c	sonstige	GFS	TFS	MUFS	PUFS
Brat- und Backfette:															
112. p.	46,2	17,7	7,7	-	Sp	2,6	0,1	5,5	-	1,5	Sp	18,7	92,9	0,1	5,5
113. g.p.	0,5	1,4	47,6	-	0,2	4,1	1,6	35,5	0,4	7,8	0,2	54,4	2	35,8	8
114. g.p.	1,2	0,5	9,7	0,1	Sp	10,8	30,2	23,2	1,5	14,2	0,1	8,5	23,7	31,8	23,2
115. g.p.	0,3	0,3	6,8	0,1	0,2	5,6	21,8	46,4	7	3,9	0,2	7,4	14,8	28,9	48,3
116. g.	0,2	0,9	42,7	-	0,2	5,1	0,4	40	0,4	9,1	0,2	0,8	49,6	0,8	40,4
Pflanzenöle:															
117.	Sp	0,1	5,5	-	0,1	3,8	-	16,8	-	72,1	0,4	1,2	10,5	-	16,9
118.	Sp	7,2	-	0,1	5,2	-	23	-	60,6	2,6	1,3	13,7	-	23,1	63,2
119.	Sp	7,1	-	0,1	5,2	-	22,8	-	61,1	2,3	1,4	13,6	-	22,9	63,4
120.	-	4,8	-	Sp	2,7	-	15,2	-	12,6	64,1	0,6	7,6	-	15,2	76,9
121.	Sp	0,1	12,4	-	1	3,3	1,5	69,5	0,1	9,9	0,8	1,4	16,6	70,8	10,7
122.	-	Sp	23,8	-	0,2	1,4	-	50,1	0,2	15,6	0,2	8,5	26,3	0,2	52,2
Gruppe 4: Snacks															
123. g.p. Kartoffel Chips	0,2	0,2	10,5	-	0,1	5,8	13,4	32,5	3,8	19,3	1	13,2	17,9	17,2	32,6
124. g.p. Erdnuss Flips	0,1	0,1	10,9	-	0,1	5,4	8,2	36,5	1,7	25,5	1,1	10,4	20,2	9,9	36,6
125. t.g.p. Pizza Cracker	12,6	6,7	29	0,1	0,4	7,8	5,1	23	0,4	5,5	0,5	8,9	63,3	5,6	26,6
126. p. Paprika Sticks	0,3	1,2	43,4	-	0,2	4,6	0,2	38,8	1	9,4	0,1	0,8	50,2	1,2	39,1
127. g.p. Mais Snack	0,3	0,2	11	-	0,1	5,4	14,9	31,8	4,5	17,8	0,7	13,3	18,1	19,4	32,1
128. g.p. „Zwiebelringe“	Sp	0,1	11,2	-	0,1	6,2	13,6	31,8	6,6	16,6	0,5	13,3	18,8	20,2	32,1
129. p. Weizensnack	0,3	1,1	43,4	-	0,2	4,5	0,2	39,1	0,2	9,7	0,2	1,1	50,1	0,4	39,5
130. p. Knabbergebäck	30	10,7	20,1	-	0,1	3,4	-	17,7	Sp	6,9	0,3	10,8	74,8	Sp	17,9
131. p. Popcorn	0,1	0,1	10,6	-	0,1	4,1	-	25,5	0,9	51,2	4,8	2,6	15,8	0,9	25,8
132. g.p. Kartoffel Chips	Sp	0,1	11,3	-	0,1	6,1	13,3	32,2	6,6	16,5	0,6	13,2	18,7	19,9	32,5
133. p. Salzstangen	0,2	0,7	32	-	0,2	2,9	-	28	0,4	32,1	1,9	1,6	36,7	0,4	28,7

Tab. 2. Fettsäureverteilung der untersuchten Lebensmittel berechnet als Gewichtsprozent der Methylester

Lebensmittel	12	14	16	16:1t	16:1c	18	18:1t	18:1c	18:2t	18:3c	sonstige	GFS	TFS	MUFS	PUFS
Weitere Snackprodukte:															
134. p. Kartoffel Chips	0,2	1,1	42,5	-	0,2	4,6	0,3	40,1	0,4	9,9	0,2	0,5	48,9	0,7	40,5
135. p. Kartoffelsnack	0,4	1,1	31,2	Sp	0,4	4,4	1,1	46,1	0,1	13,1	0,4	1,7	38,6	1,2	46,7
Gruppe 5: Pommes frites (Herkunft)															
136. (Jahrmärktsbude)	0,2	0,7	31,4	Sp	0,1	9,2	21	26,2	1,5	3,3	0,1	6,3	42,7	22,5	26,6
137. (Schnellimbisskette)	0,2	0,3	15,5	Sp	0,1	11,2	30,9	27,5	1,9	2,9	0,1	9,5	28,5	32,8	27,5
138. (Tiefkühlware)	0,3	1,1	43,6	0,1	12,4	19,7	20,2	Sp	0,2	0,1	2,2	57,9	19,8	20,3	0,3
139. (Mensa)	0,3	1,1	37,3	-	0,2	6	5,8	38,6	Sp	9,5	0,3	0,9	45,2	5,8	39
140. (Tiefkühlware)	0,2	1	43,2	Sp	11,8	22,8	16,4	0,4	1	Sp	3,2	57	23,2	16,4	1
Gruppe 6: Backwaren															
141. t. Butterkekse	3,6	10,5	29,9	0,4	1,9	9,3	1,5	18,7	0,1	5,1	0,7	18,3	66,3	2	21,7
142. g-p. Kuchen mit Probe 97	4,1	2	20,6	Sp	0,3	5,5	5,6	33,8	0,3	21,5	3,2	3,1	34,2	5,9	34,4
143. t. Butterkekse	3,9	10,9	30,1	0,5	1,9	9,3	1,4	17,5	0,2	4,8	0,7	18,8	67,9	2,1	20,5
144. g-p. Weizentoast	0,2	0,5	15	Sp	0,3	9,9	14,9	27,5	0,6	20,9	2,6	7,6	26,4	15,5	30,9
145. g-p. Keks	0,3	1	34,3	Sp	0,2	6,6	7,9	34,7	0,7	11,2	0,4	2,7	43,4	8,6	35,1
146. g-p. Orangengebäck	0,7	1,1	36,4	-	0,2	7,3	7,7	35	0,2	9	0,2	2,2	46,5	27,9	35,3
147. g-p. Blätterteigkäse	0,3	0,9	37,6	Sp	0,1	7,4	11,7	33,5	0,6	5,1	0,9	1,9	46,8	12,3	33,8
148. g-p. Gebäckmischung	13,5	4,8	17,1	0,1	0,2	11,1	14,3	26,6	0,8	3,3	0,1	8,1	50,4	15,2	26,9
149. p. Waffeln	Sp	0,2	7,1	-	0,4	2,7	Sp	55,5	0,4	20,3	5,9	5,5	11,3	0,4	59,2
150. g-p. Schokokeks	32,3	11,9	18,9	-	0,1	10,1	0,2	10,9	0,2	3,3	0,1	12	85,3	0,4	11
151. p.t. Schokokeks	0,9	2,6	25,5	0,1	0,6	29,9	0,9	30,2	0,1	2,3	0,4	5,8	63,3	1,1	31,1
152. t. Buttergebäck	3,3	8,9	22,9	0,6	1,7	10,5	3,1	26,3	0,7	4,6	0,7	16,7	56,3	4,4	29
153. g-p. Zitronenwaffeln	40,6	15,3	12,1	-	-	11,6	-	3,9	-	1,9	0,2	14,4	93,4	-	3,9

Tab. 2. Fettsäureverteilung der untersuchten Lebensmittel berechnet als Gewichtsprozent der Methylester

Lebensmittel	12	14	16	16:1t	16:1c	18	18:1t	18:1c	18:2c	18:3c	sonstige	GFS	TFS	MUFS	PUFS
Gruppe 7: Süßwaren															
Nuss-Nougat-Cremes:															
154. g.p.	0,4	1,1	21,4	-	0,2	5,7	0,7	58	0,2	11,5	0,3	0,5	28,9	0,9	58,4
155. g.p.	0,3	0,3	10,8	-	0,1	5,7	10,3	37,6	1,5	24,3	1,9	7,2	17,3	11,9	37,9
156. g.p.	0,3	1,2	29,2	-	0,2	4,5	0,4	49,8	0,1	13,4	0,5	0,4	35,6	0,5	50
157. g.p.t.	0,3	0,8	12,4	Sp	0,2	7,1	12,5	30	2,7	22,8	2,1	9,1	22,4	15,2	30,5
158. g.p.	Sp	0,1	11,3	-	Sp	5,3	4	35,3	0,4	37,3	4,2	2,1	17,4	4,4	35,5
Andere Süßwaren															
159. Vollmilchschokolade	0,6	2	25,6	0,1	0,5	30,2	0,3	32,6	Sp	3,4	0,3	4,4	62	0,4	33,3
160. Weißer Schokolade	0,7	2	26,5	0,1	0,6	31,4	0,3	30,6	Sp	3	0,3	4,5	64,5	0,4	31,4
161. g.p.t. Schokolinsperkels	0,3	1	23,1	Sp	0,3	21	13,7	31,9	0,5	3,2	0,2	4,8	47,5	14,2	32,4
162. g.p.Nüßschnitte	28,5	10,2	12	-	0,1	8,3	0,8	26,6	Sp	3,7	Sp	9,8	68,8	0,8	26,7
163. t.g.p.Pralinen	0,5	1,6	25,6	0,1	0,5	31,3	0,9	32,1	Sp	3,1	0,3	4	62,4	1	32,8
164. g.p.t.Schokoriegel	0,7	2	26,8	Sp	0,5	28,5	3,1	30,4	0,1	2,9	0,2	4,8	61,7	3,2	31,1
165. t.g.p.Schokoriegel	2,1	3,3	22,7	0,1	0,6	24,7	3,2	30,9	Sp	4,8	0,8	6,8	58,1	3,3	31,9
166. t.p.Kinder-Riegel	2,2	3,2	42,3	0,1	0,5	8,2	1	31,3	0,3	4,9	0,3	5,7	59,4	1,4	32,1
167. t.p.Kinder-Riegel	0,8	2,7	37	0,1	0,6	18,2	0,8	30,6	0,2	3,4	0,3	5,3	62,7	1,1	31,5
168. g.p.t.Schokoriegel	0,5	1,6	34,7	Sp	0,4	19,7	0,8	34,2	Sp	4,7	0,3	3,1	59,2	0,8	34,8
169. n.d.Schokoriegel	0,4	1	17,9	Sp	0,3	20,5	15,5	35,1	0,2	3,3	0,2	5,6	43,5	15,7	35,5
170. t.p.Schokoriegel	17,9	7,1	19	Sp	0,3	22,7	0,2	21,2	Sp	22,3	0,2	9,1	74,6	0,2	21,6
171. g.p.t.Schokoriegel	0,4	1	19,7	Sp	0,3	19,6	2,5	35,5	Sp	15,6	0,2	5,2	45	2,5	36,3
172. t.g.p.Schokoriegel	0,7	1,9	25,7	0,1	0,5	30,8	1,8	30,8	0,1	3	0,3	4,3	62,3	2	31,5
173. t.p.Müslingriegel	10,9	4,8	17,9	Sp	0,3	18,4	0,2	29,3	Sp	11	0,3	6,9	58,3	0,2	30,2
Gruppe 8: Fertigsuppen und -soßen															
174. g.p.KlareSuppe	0,3	1,6	42,3	0,1	Sp	8,3	27,7	15,3	0,5	0,4	Sp	3,5	53,3	28,3	15,3
															0,4

Gruppe 8: Fertigsuppen und -soßen

174. g.p.KlareSuppe

Tab. 2. Fettsäureverteilung der untersuchten Lebensmittel berechnet als Gewichtsprozent der Methylester

Lebensmittel	12	14	16	16:1t	16:1c	18	18:1t	18:1c	18:2c	18:3c	sonstige	GFS	TFS	MUFS	PUFS	
Weitere-Suppen und -soßen:																
175. t.g.p. Rindsbouillon																
0,1	3,7	28,5	0,5	2,1	20,8	9	27,2	0,3	1,8	0,4	5,6	55,1	9,9	29,6	2,2	
0,2	2,2	40,4	0,2	0,5	11,1	24,7	15,7	0,5	1,1	0,2	3,2	55,2	25,4	16,2	1,3	
176. g.p.t. Currysoße	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
177. t.g.p. Instantbolognese	0,1	4,3	26	0,5	2,9	23,5	2,3	31,2	0,1	2,2	0,6	6,3	56,1	2,9	34,6	2,8
178. g.p. Zwiebelcremesuppe	0,1	0,6	18,2	Sp	20,1	34	18,9	0,9	1	Sp	6,2	40,5	34,9	18,9	1,1	
Gruppe 9: sonstige Fette und Lebensmittel																
179. Rösti-Zwiebeln	0,2	0,1	11,7	-	0,1	8,3	6,7	23,8	0,7	40	5,3	3,1	21,7	7,4	27,6	40
180. Kakao-Butter	-	Sp	27,7	-	0,3	35,3	-	32,1	-	2,8	0,2	1,6	64,3	-	32,4	3
181. Mandelöl	-	0,1	26	-	0,2	36,7	0,1	32,4	-	2,8	0,2	1,5	64,3	0,1	32,6	3
182. Erdnussöl	-	Sp	7,5	-	0,5	1,5	Sp	65	0,1	24,9	0,2	0,3	9	0,1	65,7	24,9
183. Erdnussöl	Sp	11,7	-	Sp	3,4	Sp	38,8	0,5	37,5	2	6,1	20,8	0,5	40,9	37,5	
184. Walnussöl	-	Sp	7,9	-	0,1	2,4	0,2	21,6	-	54,8	0,2	10,3	0,2	34,5	54,8	
185. Mandelöl	-	0,1	7,1	-	0,6	1,3	-	66,9	-	24	Sp	0	8,5	-	67,5	24
186. Mayonnaise	-	Sp	5,9	-	0,2	2,2	-	54,3	0,4	25,5	8,5	3	9,3	0,4	63,6	25,5
187. Vollei	-	0,4	24,1	Sp	2,5	5,7	0,2	39,8	Sp	21,3	1,5	4,5	30,6	0,2	42,5	25
188. Eigelb	-	0,4	25,2	Sp	1,7	6,6	0,3	38,5	Sp	21,8	1,1	4,4	32,6	0,3	40,4	24,8
189. Eiermadelin	-	0,3	21,5	0,1	1,8	4,9	0,4	33,2	Sp	33,1	1,9	2,8	26,9	0,5	35,5	36
190. Kaffeedö	-	0,1	35,5	-	Sp	7,3	-	11,3	-	40,2	0,9	4,7	46,1	-	11,8	41,1
191. Kaffeedö	-	0,1	34,6	-	-	7,3	-	11,5	0,1	41	0,9	4,5	45,2	-	12	41,9
192. Hering	0,1	8,5	12,2	0,2	4,3	1,6	Sp	13,3	Sp	1,6	0,2	58	23,8	0,2	55,3	13,8
193. Barsch	Sp	2	19,2	0,4	9,5	5,1	1,8	16,5	0,1	3,5	2,9	39	27,2	2,3	26,7	35,9
194. Rotfeder	Sp	1,2	19,7	0,6	3,9	12,8	0,1	15,7	Sp	3,5	1,8	40,7	35,7	0,7	19,9	35,2
195. Schleie	0,1	1,4	16,8	0,7	3,7	11,2	0,3	15,9	Sp	2,9	1,6	45,4	32	1	20,1	36,7
196. Heringfilet	0,1	9,6	12,3	0,1	3,8	0,9	Sp	29,8	0,2	1,8	0,2	61,2	24,2	0,3	48	19,2
197. Haferflocken	-	0,2	16,2	-	0,2	1,5	-	41,4	Sp	36,8	1	2,7	18,1	Sp	42,5	37,8

Fettsäurezusammensetzung der Lebensmittel

Tabelle 2 zeigt die Fettsäureverteilung in den untersuchten Lebensmitteln. Aufgeführt sind die am häufigsten auftretenden Fettsäuren. Die kürzer- und längerkettigen Fettsäuren wurden wie die ungeradzahligen und methylverzweigten Fettsäuren unter der Spalte „sonstige“ zusammengefaßt.

Milch und Milchprodukte

Die trans-Fettsäuregehalte in den untersuchten Milchproben und Kuhmilchprodukten lagen zwischen 1,5 und 7,9 Gewichtsprozent der Fettsäuren. In der Regel wiesen die Proben Gehalte zwischen 2,4 und 4,0 % auf. Ein Einfluß der Milchverarbeitung auf die Gehalte an trans-Isomeren konnte nicht beobachtet werden. Dies gilt auch für den Einsatz von Mikroorganismen. Die Muster und die Gehalte an trans-Fettsäuren in den untersuchten Dickmilch- und Joghurtproben unterschieden sich nicht von unfermentierten Milcherzeugnissen. Die Untersuchung zahlreicher verschiedener Käsesorten ließ ebenfalls keinen Einfluß bestimmter Reifungskulturen erkennen. Die trans-Fettsäuregehalte in den untersuchten Hartkäsen lagen allerdings ca. 1 % niedriger als die Gehalte in den Frischkäsen und den übrigen Milchprodukten. Die untersuchten Schaf- und Ziegenkäse wichen in ihren Gehalten an trans-Fettsäuren nicht wesentlich von den Produkten aus Kuhmilch ab. Unterschiede in den Gehalten der trans-Isomeren zwischen einzelnen Milchprodukten traten besonders bei den trans-Octadecensäuren auf (1,0–6,1 %). Dabei handelte es sich überwiegend um das 18 : 1(11t)-Isomere, die trans-Vaccensäure. Die Gehalte an trans-Hexadecensäure lagen konstant zwischen 0,4 und 0,8 %. Trans-Isomere der Tetradecensäure waren in den untersuchten Proben ebenso wie trans-Isomere mit einer Kettenlänge von 20 oder mehr Kohlenstoffatomen nicht nachweisbar. Neben den in Tabelle 2 einzeln aufgeführten Fettsäuren wurden insgesamt ca. 20 % kurzkettige, ungeradzahlige und methylverzweigte Fettsäuren in den Milchprodukten nachgewiesen (siehe Abb. 1).

Fleisch und Fleischprodukte

Die Gehalte an trans-Fettsäuren im Fett aus Rindfleisch lagen in ähnlicher Höhe wie in der Milch. Die Verteilung der trans-Isomeren gleicht ebenfalls der in der Milch. Es traten neben der trans-Hexadecensäure und den Linolsäureisomeren vor allem die trans-Octadecensäureisomere mit der trans-Vaccensäure als der dominierenden Fettsäure auf. Niedrigere Gehalte an trans-Fettsäuren wurden in Kalbfleisch gefunden. In den Hammelfleischproben wurden zwischen 8,2 und 10,6 % trans-Isomere festgestellt. Auch im Lammfleisch konnten zwischen 6,6 und 8,8 % trans-Isomere ermittelt werden. Eine als Schafffleisch deklarierte Probe wies mit 3,2 % einen niedrigeren trans-Fettsäuregehalt auf, als die als Hammel oder Lamm deklarierten Proben. Das Verteilungsmuster der trans-Fettsäuren entsprach dem des Rindfleischs. In Schweine-, Geflügel-, Kaninchen- und Pferdefleisch waren geringe Mengen an trans-Fettsäuren enthalten. Nur eine Putenbrust wies mit 1,4 % trans-Fettsäuren einen Gehalt über 1 % auf. Aufgrund des hohen Anteils an Schweinefleisch in Wurstwaren lagen die trans-Fettsäuregehalte der untersuchten Fleischprodukte unterhalb 1 %. Ausnahmen bildeten allein Produkte wie corned beef oder eine Rindersalami, die unter alleiniger Verwendung von Rindfleisch hergestellt worden sind. Eine Veränderung des Fettsäremusters im Vergleich zum Rindfleisch konnte bei der Salami infolge der mikrobiellen Wurstreifung nicht festgestellt werden. Auch bei den anderen Fleischerzeugnissen war kein Einfluß der Verarbeitung, auf die Verteilung und den Gehalt an trans-Fettsäuren zu beobachten.

Margarinen, Brat- und Backfette, Pflanzenöle

Die untersuchten Margarinen enthielten zwischen 0,6 und 23,5 % trans-Fettsäuren. Von quantitativer Bedeutung sind nur die trans-Octadecensäureisomere. Im Gegensatz zu den Fetten der Wiederkäuer trat in den technologisch gehärteten Fetten keines der trans-Octadecensäureisomere besonders hervor. Ca. 80–90 % der Doppelbindungen lagen zwischen den Positionen 9–12. Die trans-Hexadecensäure wurde nicht oder nur in Spuren gefunden. Die geometrischen Isomere der Linolsäure waren mit einer Ausnahme von 1,7 % nur in Mengen von unter 1 % nachweisbar. In der Summe von gesättigten und trans-Fettsäuren unterschieden sich die verschiedenen Margarinesorten nur unwesentlich. Sie betrug bei den meisten Proben ca. 40 % des Fettes. Die Diät- und Halbfettmargarinen wiesen nur geringe Gehalte an trans-Fettsäuren auf. Deutliche Unterschiede in der Fettsäurezusammensetzung zeigten die fünf untersuchten Brat- und Backfette. Die Gehalte an gesättigten Fettsäuren lagen zwischen 14,8 und 92,9 %, die der trans-Fettsäuren zwischen 0,1 und 31,8 %. Die Unterschiede im trans-Fettsäuregehalt zeigten sich auch bei den Linolsäureisomeren. Es wurden bis zu 7 % der geometrischen Linolsäureisomere nachgewiesen. In keinem der gehärteten Fette waren trans-Fettsäuren mit einer Kettenlänge von mehr als 18 Kohlenstoffatomen in Mengen von über 0,1 % nachweisbar. In einer der sechs Salat- und Pflanzenölproben wurden trans-Octadecensäuren gefunden. Die als Olivenöl deklarierte Probe enthielt 1,5 % des für eine Fetthärtung typischen Isomerengemisches. Die anderen Öle enthielten keine trans-Fettsäuren.

Snacks

Für die Herstellung von Snacks oder Knabberartikeln werden überwiegend gehärtete oder nicht gehärtete pflanzliche Fette verwendet. Die mit gehärteten Pflanzenfetten hergestellten Produkte enthielten bis zu 20 % trans-Fettsäuren. Snacks mit solch höheren trans-Fettsäuregehalten enthielten weniger als 20 % gesättigte Fettsäuren. Das Muster der trans-Fettsäuren entsprach dem der gehärteten Pflanzenfette. Trans-Fettsäuren waren auch in Snacks ohne Zusatz gehärteter Fette nachweisbar. Dabei traten die trans-Isomeren der Linolsäure auf. Die Gehalte an trans-Fettsäuren in Snacks, die mit nicht gehärteten Pflanzenöl hergestellt waren, betrugen bis zu 1,2 %.

Pommes frites

In allen Proben waren trans-Fettsäuren nachweisbar. Die Gehalte lagen zwischen 5,8 und 32,8 %. Die höchsten Gehalte wurden in der Probe einer amerikanischen Schnellimbißkette nachgewiesen.

Backwaren

Für die Produktion von Backwaren werden tierische Fette wie Butterfett, Talg oder Schmalz, ebenso wie gehärtete oder nicht gehärtete Pflanzenfette eingesetzt. Entsprechend unterschiedlich waren die Fettsäurezusammensetzungen dieser Erzeugnisse. Sie entsprachen den unterschiedlichen Rohstoffen. Ein selbst gebackener Kuchen zeigte das gleiche Fettsäuremuster wie die zum Backen verwendete Margarine. Der trans-Fettsäureanteil in den Fetten der Backwaren lag zwischen 0 und 15,5 %. Die Linolsäureisomere wiesen Gehalte unter 1 % auf. In Proben mit tierischem Fett war bis zu 0,6 % trans-Hexadecensäure nachweisbar. In einer Keksprobe, bei der die Verwendung gehärteter Pflanzenfette im Zutatenverzeichnis deklariert war, waren keine trans-Fettsäuren nachweisbar. Die Probe enthielt 93,4 % gesättigte, überwiegend mittelkettige Fettsäuren.

Süßwaren

Die Palette der zur Süßwarenherstellung verwendeten Fette oder Fettmischungen ist so vielfältig wie bei den Backwaren. Die Gehalte an trans-Fettsäuren lagen zwischen 0,2 und 15,7 %. Etwas höhere Anteile der Linolsäureisomere von 1,5 und 2,7 % waren in zwei Nuss-Nougat-Cremes nachweisbar. Mit Ausnahme der Nuss-Nougat-Cremes zeigten die Fette der Süß- und Backwaren hohe Gehalte von ca. 40–70 % gesättigten Fettsäuren.

Fertigsuppen und -soßen

Die höchsten trans-Fettsäuregehalte wurden in den Fertigsuppen und -soßen gefunden. Es bestanden aber starke Unterschiede zwischen den einzelnen Proben. Ermittelt wurden zwischen 2,9 und 34,9 % trans-Isomere. Dabei handelt es sich fast ausschließlich um die trans-Octadecensäureisomere.

Sonstige Fette und Lebensmittel

Röstzwiebeln enthielten 7,4 % trans-Isomere. In Kakaobutter, Nußölen, Eiern und Fischen waren geringe Mengen an trans-Fettsäuren nachweisbar. In Kakao, Kaffee und Haferflocken wurden keine trans-Isomere gefunden.

Diskussion

Für die gaschromatographische Trennung von cis- und trans-Fettsäuren haben bisher nur hochpolare Cyanopropylphasen Bedeutung erlangt (29). Die Absicherung der Ergebnisse über eine Trennsäule anderer Polarität ist nicht möglich. Eine Überlagerung der trans-Fettsäurepeaks durch die Peaks nicht identifizierter Fettsäuren kann daher nicht ausgeschlossen werden. Auch wird von Überlagerungen von trans-Octadecensäuren mit Doppelbindungen in der Nähe des Methylendes mit cis-Octadecensäuren mit Doppelbindungen in der Nähe des Carboxylenes berichtet (20). Nicht identifizierte Peaks traten bei stark gehärteten Fetten im Bereich der geometrischen Linolsäureisomere auf. Es ist bekannt, daß bei der Härtung auch eine Vielzahl von Stellungsisomeren der Linolsäure gebildet werden. Auf eine Überlagerung dieser Peaks mit denen der geometrischen Isomere wurde durch Fraktionierung mittels Silberionen-DC geprüft. Aus Fettsäuregemischen mit einem hohen Anteil geometrischer Isomere wurden so die trans-Fettsäuren von den cis-Stellungsisomeren getrennt und nach Auskratzen der DC-Banden und Elution der Fettsäuren separat gaschromatographisch untersucht. Im Bereich der Retentionszeiten der geometrischen Linolsäureisomere eluierten keine weiteren Fettsäuren. Auf die gleiche Art wurde nachgewiesen, daß zwischen den Elutionsbereichen der cis- und trans-Octadecensäureisomeren keine Überlappung aufgetreten war. Eine Überbewertung des trans-Fettsäureanteils konnte damit weitgehend ausgeschlossen werden.

In den untersuchten Lebensmitteln wurden verschiedene Verteilungsmuster der trans-Fettsäuren nachgewiesen. In den von Wiederkäuern stammenden Fetten trat neben anderen Isomeren der trans-Octadecensäuren und der trans-Hexadecensäure überwiegend die trans-Vaccensäure auf. Gehärtete Pflanzenfette wiesen nur geringe oder keine Anteile an trans-Hexadecensäure auf. Die trans-Octadecensäuren hatten als Isomerengemisch den größten Anteil an den trans-Fettsäuren. Hinweise auf eine Veränderung des nach der mikrobiellen oder technologischen Härtung gebildeten trans-Fettsäuremusters durch Fermentation oder Wärmeeinwirkung gab es nicht. Für die Unterschiede im trans-Fettsäuregehalt zwischen Hartkäsen und frischen Milchproduk-

ten sind möglicherweise jahreszeitliche Schwankungen im trans-Fettsäuregehalt der Milch verantwortlich. Alle Proben wurden im Frühjahr gekauft. Die für die Hartkäse verwendete Milch wurde dementsprechend früher gemolken als die der frischen Milchprodukte. Im Winter wurden niedrigere Gehalte an trans-Isomeren in der Milch gefunden als im Sommer (11).

Eine vollständige Trennung und sichere Quantifizierung aller trans-Octadecensäure-isomere ist mit den üblichen chromatographischen Methoden nicht zu erzielen. Da es Hinweise auf physiologische Unterschiede einzelner Isomere gibt (28), wäre eine bessere Auftrennung der Isomere wünschenswert. Die geometrischen Isomere der Linolsäure waren in tierischen Fetten und in Margarinen nur in geringen Mengen von weniger als 1 % nachweisbar. Diese Beobachtungen stimmen mit früheren Untersuchungen (18, 21, 25) überein. Gehalte von über 1 % der geometrischen Linolsäureisomere wurden in Backfetten und vereinzelt in verschiedenen anderen Lebensmitteln beobachtet. Insbesondere das 9-trans, 12-trans-Isomere der Linolsäure beeinträchtigt den Arachidonsäuremetabolismus (2, 9) und kann bei Ratten einen Linolsäuremangel verstärken (19). Aufgrund der geringen Gehalte dieser Säure in den Lebensmitteln erscheint dies für die menschliche Ernährung nicht relevant. Geometrische Isomere der Linolensäure, die in französischen Produkten aufgetreten sind (30), wurden nicht nachgewiesen.

Trans-Fettsäuren werden anstelle von gesättigten Fettsäuren in Depotfette und Membranen eingebaut (13). In Studien zum Einfluß von trans-Fettsäuren auf die Plasmalipoproteingehalte wurden ähnlich negative Effekte, wie bei gesättigten Fettsäuren beobachtet (15, 16, 17, 31, 32). Der Anteil von trans-Fettsäuren im Fett der Nahrung beträgt ca. 4 % (26) und liegt damit deutlich unter der Zufuhr von gesättigten Fettsäuren. Der quantitative Einfluß der trans-Fettsäuren auf die Ausbildung von Herz- und Kreislauferkrankungen dürfte daher gegenüber den gesättigten Fettsäuren gering sein. Für eine physiologische Wertschätzung der untersuchten Fette bedeutet dies, daß Produkte mit höheren trans-Fettsäuregehalten nicht in jedem Fall schlechter zu beurteilen sind. Häufig weisen sie deutlich geringere Gehalte an gesättigten Fettsäuren auf. Strebt man die empfohlene Senkung (4, 22) der Zufuhr gesättigter Fettsäuren an, müssen andererseits die Gehalte an trans-Fettsäuren in Lebensmitteln berücksichtigt werden. Eine Nichtberücksichtigung in der Erstellung von Diäten zur Risikominderung von Herz- und Kreislauferkrankungen kann zu einer Verschiebung des Verhältnisses von gesättigten zu trans-Fettsäuren führen, ohne die Plasmalipoproteinspiegel positiv zu beeinflussen (6).

Für die Berücksichtigung der trans-Fettsäuregehalte in Diätplänen ist die Aufnahme der trans-Fettsäuregehalte in Nährwerttabellen zu wünschen. Insbesondere für tierische Produkte und Margarinen liegt hierfür ausreichendes Datenmaterial vor. Problematisch erscheint die Angabe von Fettzusammensetzungen für Lebensmittel, die wie die Süß- und Backwaren mit unterschiedlichsten Rohstoffen hergestellt werden können. Diese Problematik betrifft aber nicht nur die Gehalte an trans-Fettsäuren, sondern, wie diese Untersuchung gezeigt hat, gleichermaßen alle Fettsäuregruppen. Wenn also überhaupt eine Fettsäurezusammensetzung in Nährwerttabellen veröffentlicht werden kann, dann sollten auch die trans-Fettsäuregehalte berücksichtigt werden.

Epidemiologische Untersuchungen zeigten eine Korrelation zwischen dem Verzehr von trans-Fettsäuren und dem Auftreten von Herzinfarkten (27, 28). Die Zunahme des Herzinfarktrisikos bei einer Erhöhung der trans-Fettsäureaufnahme von 2,1 g/Tag auf 4,9 g/Tag wurde für gesunde Männer auf 27 % hochgerechnet (27). Bei Frauen ließ sich ebenfalls unter Berücksichtigung anderer bekannter Risikofaktoren, wie z.B. Rauchen, Bluthochdruck oder Cholesterinzufuhr, eine Zunahme des Herzinfarktrisikos um 50 %

bei einer Steigerung der Aufnahme von 2,4 g/Tag auf 5,7 g/Tag feststellen (28). Die Zunahme des Herzinfarktrisikos ließ sich nicht mit der Aufnahme von trans-Fettsäuren aus Wiederkäuerprodukten sondern nur mit der Aufnahme technologisch gehärteter Fette korrelieren. Neben dem unterschiedlichen Muster der trans-Fettsäuren in diesen beiden Gruppen bestehen zwischen beiden Lebensmittelgruppen erhebliche qualitative Unterschiede, die mit der Zunahme des Herzinfarktrisikos verbunden sein können. Bei den Wiederkäuerprodukten haben frische, technologisch wenig veränderte Waren mit geringen Anteilen an oxidationsempfindlichen mehrfach ungesättigten Fettsäuren den größten Anteil an der Aufnahme der trans-Fettsäuren (26). Demgegenüber werden Fette in Lebensmitteln wie Pommes frites, Chips, Back- und Süßwaren thermisch und oxidativ belastet. Dabei entstehen aus den Fetten Carbonylverbindungen, konjugierte Fettsäuren oder Polymerisate. Über die Reaktionen mit anderen Lebensmittelinkonsiststoffen, die Verzehrmengen oder die physiologischen Aktivitäten dieser Verbindungen fehlen umfassende Kenntnisse. Es wird vermutet, daß oxidierte Lipoproteine eine wesentliche Rolle bei der Entstehung der Arteriosklerose spielen (10). Als Konsequenz der epidemiologischen Untersuchungen sind weiterführende analytische und physiologische Arbeiten erforderlich: Die Unterschiede im Stoffwechsel der verschiedenen trans-Octadecensäureisomere müssen geklärt und die chromatographische Trennung der Isomere verbessert werden, um exaktere Angaben über das Vorkommen in verschiedenen Lebensmitteln machen zu können. Daneben müssen die bei der Herstellung, Lagerung und Zubereitung von Lebensmitteln auftretenden Veränderungen quantitativ erfaßt und physiologisch weiter untersucht werden.

Literatur

1. Aitzetmüller K, Guaraldo Goncalves LA (1990) Dynamic impregnation of silica stationary phases for the argentation chromatography of lipids. *J Chromatogr* 519:349–358
2. Chern JC, Kinsella JE (1983) The effects of unsaturated fatty acids on the synthesis of arachidonic acid in rat kidney cells. *Biochem Biophys Acta* 750:465–471
3. Christie WW, Breckenridge GH (1989) Separation of cis and trans isomers of unsaturated fatty acids by high-performance liquid chromatography in the silver ion mode. *J Chromatogr* 469:261–269
4. Dupont J, White PJ, Feldman EB (1991) Saturated and hydrogenated fats in food in relation to health. *J Am Coll Nutr* 10:577–592
5. Enig MG, Pallansch LA, Sampugna J, Keeney M (1983) Fatty acid composition of the fat in selected food items with emphasis on trans components. *J Am Oil Chem Soc* 60:1788–1795
6. Grundy SM (1990) Trans monounsaturated fatty acids and serum cholesterol levels. *N Engl J Med* 323:480–481
7. Heckers H, Melcher FW (1978) Trans-isomeric fatty acids present in West German margarines, shortenings, frying and cooking fats. *Am J Clin Nutr* 31:1041–1059
8. Hunter JE, Applewhite TH (1991) Reassessment of trans fatty acid availability in the US diet. *Am J Clin Nutr* 54:363–369
9. Hwang DH, Chanmugam P, Anding R (1982) Effects of dietary 9-trans, 12-trans linoleate on arachidonic acid metabolism in rat platelets. *Lipids* 17:307–313
10. Jialal I, Grundy SM (1992) Effect of dietary supplementation with alpha-tocopherol on the oxidative modification of low density lipoprotein. *J Lipid Res* 33:899–906
11. Kaufmann HP, Mankel G (1964) Über das Vorkommen von trans-Fettsäuren. *Fette Seifen Anstrichmittel* 66:6–13
12. Kinsella JE, Bruckner G, Mai J, Shimp J (1981) Metabolism of trans fatty acids with emphasis on the effects of trans, trans-octadecadienoate on lipid composition, essential fatty acid, and prostaglandins: an overview. *Am J Clin Nutr* 34:2307–2318
13. Koletzko B (1991) Zufuhr, Stoffwechsel und biologische Wirkungen trans-isomerer Fettsäuren bei Säuglingen. *Die Nahrung* 35:229–283

14. Laryea MD, Biggemann B, Funke M, Lombeck I, Bremer HJ (1988) Trans fatty acid content of selected brands of West German nut-nougat cream. *Z Ernährungswiss* 27:266–271
15. Mensink RP, Katan MB (1990) Effect of dietary trans fatty acids on high-density and low-density lipoprotein cholesterol levels in healthy subjects. *N Engl J Med* 323:439–445
16. Mensink RP, Zock PL, Katan MB, Hornstra G (1992) Effect of dietary cis and trans fatty acids on serum lipoprotein [a] levels in humans. *J Lipid Res* 33:1493–1501
17. Nestel P, Noakes M, Belling B, McArthur R, Clifton P, Janus E, Abbey M (1992) Plasma lipoprotein lipid and Lp [a] changes with substitution of elaidic acid for oleic acid in the diet. *J Lipid Res* 33:1029–1036
18. Parodi PW (1976) Distribution of isomeric octadecenoic fatty acids in milk fat. *J Dairy Science* 59:1870–1873
19. Privett OS, Phillips F, Shimasaki H, Nozawa T, Nickell EC (1977) Studies of effects of trans fatty acids in the diet on lipid metabolism in essential fatty acid deficient rats. *Am J Clin Nutr* 30:1009–1017
20. Ratanayake WMN, Beare-Rogers JL (1990) Problems of analyzing C18 cis- and trans-fatty acids of margarine on the SP-2340 capillary column. *J Chromatogr Sci* 28:633–639
21. Sampugna J, Pallansch LA, Enig MG, Keeney M (1982) Rapid analysis of trans fatty acids on SP-2340 glass capillary columns. *J Chromatogr* 249:245–255
22. Sen Gupta AK (1991) Fette und Gesundheit, Teil I. *Deutsche Lebensmittel Rundschau* 87:282–287
23. Slover HT, Thompson RH Jr, Davis CS, Merola GV (1985) Lipids in margarines and margarine-like foods. *J Am Oil Chem Soc* 62:775–786
24. Snyder JM, Scholfield CR (1982) Cis-trans isomerization of unsaturated fatty acids with p-toluenesulfonic acid. *J Am Oil Chem Soc* 59:469–470
25. Sommerfeld M (1983) Trans unsaturated fatty acids in natural products and processed foods. *Prog Lipid Research* 22:221–233
26. Steinhart H, Pfalzgraf A (1992) Aufnahme trans-isomerer Fettsäuren – Eine Abschätzung auf Basis der Daten der nationalen Verzehrsstudie 1991. *Z Ernährungswiss* 31:196–204
27. Troisi R, Willett WC, Weiss ST (1992) Trans-fatty acid intake in relation to serum lipid concentrations in adult men. *Am J Clin Nutr* 56:1019–1024
28. Willett WC, Stampfer MJ, Manson JE, Colditz GA, Speizer FE, Rosner BA, Sampson LA, Hennekens CA (1993) Intake of trans fatty acids and risk of coronary heart disease among women. *Lancet* 341:581–585
29. Wolff RL (1992) Resolution of linolenic acid geometrical isomers by gas-liquid chromatography on a capillary column coated with a 100 % cyanopropyl polysiloxane film (CPTMSil 88). *J Chromatogr Sci* 30:17–22
30. Wolff RL, Sebedio JL (1991) Geometrical isomers of linolenic acid in low-calorie spreads marketed in France. *J Am Oil Chem Soc* 68:719–725
31. Wood R, Kubena K, O'Brien B, Tseng S, Martin G (1993) Effect of butter, mono- and polyunsaturated fatty acid-enriched butter, trans fatty acid margarine, and zero trans fatty acid margarine on serum lipids and lipoproteins in healthy men. *J Lipid Res* 34:1–11
32. Zock PL, Katan MB (1992) Hydrogenation alternatives: effects of trans fatty acids and stearic acid versus linoleic acid on serum lipids and lipoproteins in humans. *J Lipid Res* 33:399–410

Eingegangen 26. Juni 1993
akzeptiert 19. August 1993

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Dr. Hans Steinhart, Institut für Biochemie und Lebensmittelchemie der Universität Hamburg, Grindelallee 117, 20146 Hamburg