

# **Trans-Fettsäuren in Feinen Backwaren und Konditoreierzeugnissen: Herkunft aus natürlichen Milchfetten und aus der Fetthärtung**

*Alfred Mar, Wels (Österreich)*

## **1. Einleitung**

Ende letzten Jahres und Anfang 2005 war das Wort „Trans-Fettsäuren“ ein in den österreichischen Medien häufig gebrauchtes Schlagwort. Auch der falsche Ausdruck „Trans-Fette“ wurde oft gebraucht, obwohl dieser Begriff überhaupt nicht existiert und nur zu Missverständnissen führen kann. Vereinzelt hat man sich auch nicht gescheut, von „giftigen Trans-Fetten“ zu schreiben. Die Kreise, die sich dem Konsumentenschutz zugehörig fühlen, haben mit wissenschaftlich nicht abgesicherten Schreckensmeldungen, wonach „Trans-Fette“ an vielen der bekannten Zivilisationskrankheiten, wie Herzinfarkt, Krebs und Diabetes angeblich schuld oder zumindest mit schuld seien, zur Panikmache beigetragen und diese angeheizt. Die Diskussion um Trans-Fettsäuren begann 2003. In diesem Jahr erließ die dänische Regierung einen Richtwert von höchstens 2 % für Trans-Fettsäuren in Fetten und anderen Lebensmitteln. Die EU Kommission beauftragte daraufhin die EFSA, die European Food Safety Authority, mit der Erstellung einer Studie zu diesem Thema. Die Veröffentlichung der Ergebnisse, auf die weiter unten näher eingegangen wird, erfolgte im August 2004. Das Unverständnis der Inhalte dieser Studie führte in der österreichischen Medienlandschaft offensichtlich zur völligen Fehlinterpretation und zur erwähnten Kampagne.

Mit sachlichen Erklärungen sollen drei Ziele verfolgt werden:

- Ergänzung der fachlichen Basisinformation, wie wir sie auch in der Ausbildung von Lebensmitteltechnologern, im Besonderen Bäckern und Konditoren vermitteln.
- Praktische Empfehlungen für den Rohstoffeinkauf der Bäcker und Konditoren.
- Schaffen eines vertieften und praxisnahen Fachwissens, um interessierten Kunden der Bäcker und Konditoren eine bessere Information bieten und Backerzeugnisse und Konditorwaren besser ausloben zu können.

## **2. Kurzer Einblick in die Fettchemie**

Speisefette und -öle sind "Triglyceride" und bestehen aus Glycerin, das mit jeweils 3, meist verschiedenen Fettsäuren verknüpft ist (Abb. 1). Bei den Fettsäuren (abgekürzt FS) unterscheidet man nach der Anzahl der Kohlenstoffatome kurzkettige (z.B. Buttersäure mit 4 C-Atomen) und langkettige (z.B. Laurinsäure 12 C-Atome, Palmitinsäure 16 C-Atome, Stearinsäure 18 C-Atome). Bei den langkettigen unterscheidet man wieder zwischen gesättigten und ungesättigten FS, wobei die gesättigten an allen C-Atomen mit Wasserstoff gesättigt sind und nur Einfachbindungen aufweisen, während die ungesättigten nicht an allen C-Atomen mit Wasserstoff gesättigt sind und dafür zwischen den C-Atomen sogenannte Doppelbindungen haben (Abb. 2). Anmerkung: Es wurde hier im Gegensatz zur chemischen Darstellung von Fettsäure-Strukturformeln der besseren Verständlichkeit wegen auf die vereinfachte lineare Darstellung zwischen den einzelnen C-Atomen zurückgegriffen. Auf die räumlichen Verhältnisse im Molekül und die Unterschiede zwischen Cis- und Trans-Fettsäuren wird aber noch näher eingegangen.

### 3. Trans-Fettsäuren

An den gesättigten C-Atomen innerhalb des Fettsäuremoleküls stehen jeweils 2 Wasserstoffatome räumlich an beiden Seiten des kettenförmigen Moleküls. An den ungesättigten C-Atomen ist jeweils nur 1 Wasserstoffatom (H-Atom), somit stehen links und rechts einer Doppelbindung 2 C-Atome mit jeweils 1 Wasserstoffatom. Daher ist es räumlich möglich, daß an einer Doppelbindung die beiden H-Atome an der gleichen Seite des FS-Moleküls angeordnet sind (= Cis-Fettsäure) oder aber an den gegenüberliegenden Seiten (Abb. 3). Cis- und die Trans-Fettsäuren können daher nur im Falle der ungesättigten FS, nicht aber bei den gesättigten auftreten.

Die Stellung der beiden H-Atome in Cis- oder Trans-Stellung hat eine ganz wesentliche Auswirkung auf die räumliche Struktur der Fettsäure: Während die Trans-Fettsäuren eine gerade molekulare Kettenausrichtung zeigen, genau so wie die gesättigten Fettsäuren, bewirkt die Cis-Stellung einen räumlichen Knick in der Kohlenstoffkette mit einem Winkel von ca. 40 ° an jeder Doppelbindung (siehe Abb. 4). Es ist daher leicht vorstellbar, daß Fettmoleküle mit abgewinkelten Cis-Fettsäuren zueinander einen größeren Molekülabstand haben, als geradlinige gesättigte oder ungesättigte Trans-Fettsäuren. Dies wirkt sich unter anderem in physikalischen und technologischen Eigenschaften der Fette aus, wie deren Schmelzbereich. Fette mit Cis-FS weisen niedrigere Schmelzbereiche und daher flüssigere oder weichere Konsistenz auf. Auch auf die physiologischen Eigenschaften, die sich als Konsequenz aus den biochemischen Eigenschaften ableiten, hat dies Einfluß, wie weiter unten noch ausgeführt wird.

### 4. Ernährungsphysiologisch wertvolle, mehrfach ungesättigte Cis-Fettsäuren

Die mehrfach ungesättigten Cis-FS gelten ernährungsphysiologisch als wertvollster Bestandteil der Fette und werden als essentielle Fettsäuren, früher Vitamin F, bezeichnet. Sie können in vereinfachter Weise als Baustein von Hormonen und als natürlicher Gegenspieler des körpereigenen "schädlichen" Low-Density-Lipoprotein (LDL)-Cholesterinkomplexes bezeichnet werden. Cis-FS tragen daher zur Vorbeugung gegen koronare Herzkrankheiten bei. Folgende Zusammenhänge stellen sich dabei dar:

- (Mehrfach) ungesättigte Cis-FS: Förderung der Bildung von „gutem“ High-Density-Lipoprotein (HDL)-Cholesterinkomplex und damit Gegenspieler von Fettablagerungen in den Gefäßen. Gesättigte FS: Förderung der Bildung von „schädlichem“ Low-Density-Lipoprotein (LDL)-Cholesterinkomplex und damit Mitbewirkung von Fettablagerungen in den Gefäßen.
- Trans-Fettsäuren: Förderung der Bildung von LDL-Cholesterinkomplex und auch Senkung von HDL-Cholesterinkomplex und damit verstärkte Fettablagerung in den Gefäßen.

Zur Veranschaulichung dieser Zusammenhänge dient die schematische Darstellung in Abbildung 5, die zeigt, wie ein Fetttröpfchen, das aus der Resynthese aus den in der Verdauung abgebauten Fettbausteinen stammt, im Blut zu den Zellen transportiert wird. Das Fetttröpfchen wird dabei von einer emulgierenden bzw. stabilisierenden Hülle umgeben, die aus folgenden Bausteinen besteht: LD- oder HD-Lipoproteine, Cholesterin und Phospholipide. Der Stabilisierungseffekt ist nun bei LDL und HDL unterschiedlich, woraus die erleichterte Ablagerung des Fettes an den Gefäßwänden im Falle des LDL-Cholesterinkomplexes resultiert.

Inwiefern aber beim einzelnen Menschen LDL-Cholesterin gebildet wird, ist nicht bloß eine Angelegenheit der Ernährung, sondern vor allem der individuellen Stoffwechsellage, die durch genetische Merkmale, also die Vererbung, und durch Krankheiten, wie Schilddrüsenunterfunktion, Diabetes, Übergewicht, Gallenerkrankungen und Hormonveränderungen, beeinflusst wird. Auch durch die Lebensgewohnheiten, wie Rauchen, Bewegungsmangel und die Ernährung, spielen dabei eine Rolle. Anders ausgedrückt: Die Aufnahme von mehrfach ungesättigten Cis-Fettsäuren liefert zwar

einen Beitrag zur Verringerung des Arteriosklerose- und Herzinfarkttrisikos, kann diese Krankheiten mit komplexer Entstehungsgeschichte aber nicht verhindern.

## 5. Ausschnitte aus der EFSA Studie vom August 2004

Kurz zusammengefaßt bestätigte die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit das gesteigerte Risiko für koronare Herzerkrankungen bei höherer Aufnahme von Trans-Fettsäuren. Es wurden jedoch keine gesicherten Zusammenhänge zwischen der Aufnahme von Trans-Fettsäuren und Bluthochdruck, Thrombosen, Diabetes, Krebs, Allergien und Störungen der fötalen und Kindesentwicklung gefunden. EU-weit schwankt die Aufnahme von Trans-Fettsäuren zwischen 1,2 bis 6,7 g/Tag. Anmerkung: Für Deutschland können 3 bis 4 g/Tag angenommen werden. Dem gegenüber nehmen die US-Bürger 12 bis 15 g Trans-Fettsäuren je Tag zu sich. Bedingt durch das Inverkehrbringen von fettarmen Milchprodukten und die Reaktion der Fett- und Margarineindustrie auf die Intentionen zur Senkung der Trans-Fettsäuren ist die Tendenz der Aufnahme von Trans-Fettsäuren in der EU rückläufig.

Zieht man eine Bilanz unseres Fettverzehr, steht einer empfohlenen täglichen Aufnahme von ca. 50 g mit einem Anteil von mindestens 50 % ungesättigten FS (d.h. > 25 g) eine tatsächliche Zufuhr von rund 100 g mit mehr als 50 % gesättigten FS gegenüber. Im Vergleich zur Zufuhr von gesättigten FS nehmen wir also nur etwa 10 % an Trans-Fettsäuren zu uns. Die EFSA schätzt daher das Risiko für koronare Herzkrankheiten bedingt durch gesättigte FS 10 mal so hoch ein, wie durch Trans-Fettsäuren.

Die EFSA empfiehlt die Reduktion der Aufnahme an Trans-Fettsäuren und die vermehrte Aufnahme von Fetten mit Cis-FS, keinesfalls jedoch mit gesättigten FS.

## 6. Herkunft und Vorkommen der Trans-Fettsäuren

Trans-Fettsäuren stammen aus 3 Quellen:

- Wiederkäuerfette (Milch- und Schlachtfett): Pansenbakterien bewirken den Umbau von mehrfach ungesättigten Fettsäuren zu Trans-Fettsäuren,
- Fetthärtung (Hydrierung), besonders teilweise Härtung,
- Hoherhitzung von Brat- und Frittierfetten.

In der Studie der EFSA wird darauf hingewiesen, daß zur Zeit eine analytische Unterscheidung der Trans-Fettsäuren aus Wiederkäuerfetten und aus der Fetthärtung nicht möglich ist und daß auch physiologische Unterschiede nicht gesichert sind. Anmerkung: Aus der Literatur ist die Umwandlung von Trans-Fettsäuren zu konjugierter Cis-trans-Linolsäure in der Milchdrüse von Kühen bekannt, was die analytische Differenzierung nicht gerade erleichtert.

In welchen Back- und Konditorwaren kommen Trans-Fettsäuren vor:

- Milch-, Butter-, Sahne- Gebäcke und –Füllungen,
- Produkte mit Verwendung von Margarine aus/mit Wiederkäuerfetten (Rindertalg),
- Produkte mit Back- oder Ziehfetten aus (teilweise) gehärteten Pflanzenfetten,
- Frittierte Erzeugnisse, Siedegebäcke.

Gehalte an Trans-Fettsäuren von einigen Lebensmitteln (Literaturwerte):

- Rinderfett inkl. Milchfett 3 – 6 %,
- Schaffett inkl. Milchfett bis 8 %,
- Käse bis 8 %,
- Margarine bis 17 %,

- Weiche Pflanzenmargarine bis 1 %,
- Pommes frites 2 – 3 %,
- Blätterteig ca. 3 %,
- Mübteigkekse 1,5 – 2 %.

## 7. Fetthärte und Eignung als Frittier- und Bratfett

Die Härte eines Fettes wird von der Art der FS bestimmt. Langkettige und gesättigte FS ergeben feste, höher schmelzende Fette, kurzkettige und ungesättigte FS ergeben weiche bis flüssige, niedrig schmelzende Fette (Öle). Öle gelten wegen ihres höheren Gehaltes an mehrfach ungesättigten Cis-Fettsäuren somit als ernährungsphysiologisch wertvoller. Dies kehrt sich jedoch in einen gesundheitlichen Nachteil um, sobald die weichen Fette und Öle beim Frittieren und Braten einer hohen Temperatur von deutlich über 100 °C ausgesetzt werden. Hier sind es gerade die Doppelbindungen der ungesättigten FS, an denen eine Oxydation und weiter eine Aufspaltung der FS eintritt, wodurch schädliche, häufig krebsauslösende Stoffe entstehen.

Gesättigte FS sind weitaus hitzestabiler und es ist das Charakteristikum eines guten Frittierfettes, daß möglichst ein hoher Anteil an gesättigten FS vorliegt. Dies ist bei natürlich vorkommenden festen Fetten der Fall oder in gehärteten Fetten. Bei der Fetthärtung werden die ungesättigten C-Atome durch die Anlagerung von H-Atomen gesättigt (Abbildung 6), wodurch auch die Doppelbindungen verschwinden und der Schmelzpunkt des Fettes und seine Hitzestabilität ansteigen. Deswegen ist die Härtung von Fetten nicht nur eine Methode zur Herstellung von technologisch maßgeschneiderten Fetten mit unterschiedlicher Weichheit bzw. Härte, etwa von Creme-, Back- und Ziehmargarine, sondern auch ein Verfahren zum Schutz der Konsumenten vor schädlichen Oxydations- und Spaltungsprodukten von FS in hitzebelasteten Fetten.

## 8. Fetthärtung und Trans-Fettsäuren

Trans-Fettsäuren liegen in höherem Ausmaß nach der Fetthärtung nur dann vor, wenn das Fett teilweise gehärtet wurde. Bei vollständig gehärteten Fetten können Trans-Fettsäuren nicht oder nur in sehr geringer Menge vorkommen, weil auch Doppelbindungen nicht mehr existieren (siehe Abbildung 6 oben). Trans-Fettsäuren kommen aber auch in teilweise gehärteten Fetten nur in einem bestimmten, geringen Anteil vor, weil sich bei der Fetthärtung, d.h. bei der Anlagerung der H-Atome an die ungesättigten C-Atome, ein fließender und labiler Übergang zwischen Wasserstoffanlagerung und –umlagerung (siehe Abbildung 6 unten) und somit zwischen cis-ungesättigten, gesättigten und trans-ungesättigten FS einstellt. Die Margarine- und Fettfabriken begegnen diesem Faktum mit der einfachen Maßnahme, daß Fette vollständig gehärtet und danach mit ungehärteten Fetten auf den gewünschten Schmelzbereich eingestellt werden. Dies ergibt Fette mit maßgeschneidertem Schmelzbereich, ohne daß die Trans-Fettsäuren in erheblichem Ausmaß enthalten sind. Daher ist die Zutatenkennzeichnung "Fett gehärtet" keineswegs ein Hinweis auf das Vorkommen von Trans-Fettsäuren in hohem Anteil!

## 9. Natürlich vorkommende Trans-Fettsäuren

Trans-Fettsäuren kommen aber nicht nur bei der industriellen Fetthärtung vor. Sie entstehen vor allem durch den Stoffwechsel der Pansenbakterien der Wiederkäuer, also der Rinder, Schafe, Ziegen usw. Die Pansenbakterien sind für die Wiederkäuer lebenswichtig, weil ohne sie eine Ernährung mit cellulosereichem Raufutter (Gras, Heu etc.) nicht möglich wäre. Als Nebeneffekt produzieren aber gerade diese wichtigen Bakterien Trans-Fettsäuren aus mehrfach ungesättigten Cis-FS im Futter. Somit enthalten die natürlichen und hochgeschätzten Fette in Milch, Schlagobers, Butter, Käse und anderen Milchprodukten die gegenständlichen Trans-Fettsäuren. Hat uns somit die Evolution ein Schnippchen geschlagen, um uns Menschen vor dem Verzehr von Wiederkäuermilch und

Wiederkäuerfetten abzuhalten? Die Frage führt sich wohl ad absurdum! Aber vielleicht könnte uns die Frage nachdenklich darüber machen, ob wir chemisch identische Stoffe deswegen ablehnen, weil sie aus der Fettfabrik und nicht aus dem Rindermagen kommen. Die physiologische Wirkung ist in beiden Fällen die gleiche!

## 10. Trans-Fettsäuren in Margarine

Somit ist es durchaus denkbar, daß Margarinen einen höheren Anteil an Trans-Fettsäuren nicht deswegen enthalten, weil die Fette nur teilweise und nicht vollständig gehärtet wurden, sondern weil Margarinen auch zu einem mehr oder weniger hohen Anteil aus Rindermagen hergestellt werden. Interessant wäre somit die wissenschaftliche Absicherung der Herkunft der Trans-Fettsäuren.

## 11. Empfehlungen an den Bäcker und Konditor beim Rohstoffeinkauf

Folgende Maßnahmen seien den Bäckern und Konditoren für den Rohstoffeinkauf vorgeschlagen:

- Fett- und Margarinelieferanten sollten den Anteil an Trans-Fettsäuren auf der Verpackung oder auf den Lieferpapieren deklarieren! (Hinweis: freiwillige Deklaration!) Die Werte sollten möglichst unter 2 % bleiben! (Hinweis: willkürlicher Wert, aber gegebenenfalls „pressewirksam“)
- Es ist von den Fett- und Margarinelieferanten zu verlangen, daß Fette mit maßgeschneidertem Schmelzbereich, z.B. Ziehmargarine, möglichst aus vollständig gehärteten Fetten, vermischt mit ungehärteten, hergestellt werden.
- Wenn der Gehalt an natürlich vorkommenden Trans-Fettsäuren aus Wiederkäuerfett, z.B. Rindertalg, in Margarine vermieden, werden soll, muß gezielt Margarine aus Pflanzenfett, z.B. Sonnenblumenmargarine eingekauft werden.
- Keine Bedenken bestehen wegen natürlich vorkommender Trans-Fettsäuren in Milch, Schlagobers, Butter, Käse und anderen Milchprodukten. Diese Produkte haben auch in Kreisen, die fachlich zweifelhaft Attacken gegen Trans-Fettsäuren in gehärteten Fetten reiten, ein hohes Image und gelten unbestritten als natürlich.
- Bei Siedegebäcken sind nur hitzestabile, auch vollständig gehärtete Frittierfette zu verwenden. Zu wählen sind möglichst niedrige Frittiertemperaturen, etwa maximal 165 °C. Dadurch wird nicht nur den Gehalt an Trans-Fettsäuren verringert, sondern auch an Acrylamid und Oxydationsprodukten, und als positiven Nebeneffekt erhält man eine längere Verwendbarkeit des Frittierfettes.

Bei Annahme der Empfehlungen und entsprechender Zusammenarbeit der Fett- und Margarineindustrie mit den Bäckern und Konditoren, sollten Trans-Fettsäuren bald keine Schlagzeilen mehr auslösen.

## 12. Zusammenfassung

Ausgehend von einem kurzen Einblick in die Fettchemie wird der Begriff der Trans-Fettsäuren im Gegensatz zu den Cis-Fettsäuren erklärt. Dabei wird insbesondere auf die ernährungsphysiologisch wertvollen, mehrfach ungesättigten Fettsäuren hingewiesen. Cis- und Trans-Fettsäuren können nur im Falle der ungesättigten Fettsäuren, nicht aber bei den ernährungsphysiologisch als nicht essentiell eingestuft, gesättigten auftreten. Die mehrfach ungesättigten Cis-Fettsäuren gelten als natürlicher Gegenspieler des körpereigenen Low-Density-Lipoproteins (LDL), das zu Cholesterin- bzw. generell Lipidablagerungen in den Gefäßen und damit zu Arteriosklerose führt. Trans-Fettsäuren stehen im Verdacht, die Bildung von LDL zu unterstützen. Inwiefern aber beim einzelnen Menschen LDL gebildet wird, ist nicht bloß eine Angelegenheit der Ernährung, sondern vor allem der individuellen Stoffwechsellage!

Die Fetthärte wird am Beispiel der Eignung eines Fettes als Frittier- und Bratfett sowie als Zieh fett oder Ziehmargarine für die Herstellung tourierter Teige beschrieben. Die Härtung von Fetten dient nicht nur der Herstellung von technologisch maßgeschneiderten Fetten mit unterschiedlicher Weichheit bzw. Härte, sondern ist auch ein Verfahren zum Schutz der Konsumenten vor schädlichen Oxydations- und Spaltungsprodukten von Fettsäuren in thermisch hoch belasteten Fetten. Trans-Fettsäuren liegen in höherem Ausmaß nach der Fetthärtung nur dann vor, wenn das Fett teilweise gehärtet wurde. Bei vollständig gehärteten Fetten können Trans-Fettsäuren nicht oder nur in sehr geringer Menge vorkommen. Die Margarine- und Fettfabriken stellen sich darauf unter anderem mit der Maßnahme ein, daß Fette vollständig gehärtet und danach mit ungehärteten Fetten auf den gewünschten Schmelzbereich eingestellt werden. Auf diese Weise könnten allenfalls diskutierte Höchstwerte für Trans-Fettsäuren eingehalten werden.

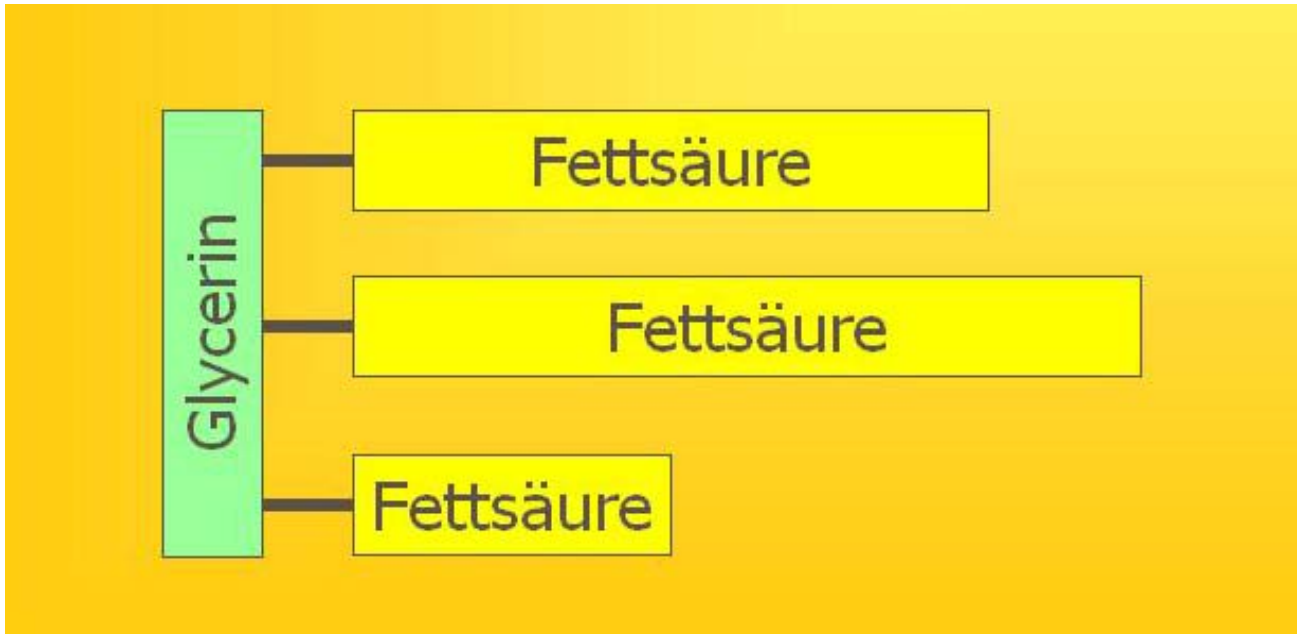
Trans-Fettsäuren kommen aber nicht nur bei der industriellen Fetthärtung vor. Sie entstehen vor allem durch den Stoffwechsel der Pansenbakterien der Wiederkäuer, also der Rinder, Schafe, Ziegen usw. Als Nebeneffekt produzieren aber gerade diese für die Verdauung wichtigen Bakterien Trans-Fettsäuren. Somit enthalten die natürlichen und hochgeschätzten Fette in Milch, Schlagobers, Butter, Käse und anderen Milchprodukten die gegenständlichen Trans-Fettsäuren. Die physiologische Wirkung ist die gleiche! Somit ist es durchaus denkbar, daß Margarinen einen höheren Anteil an Trans-Fettsäuren nicht deswegen enthalten, weil die Fette nur teilweise und nicht vollständig gehärtet wurden, sondern weil Margarinen auch zu einem mehr oder weniger hohen Anteil aus Rinderfett hergestellt werden. Interessant wäre somit die wissenschaftliche Absicherung der Herkunft der Trans-Fettsäuren.

## Literatur

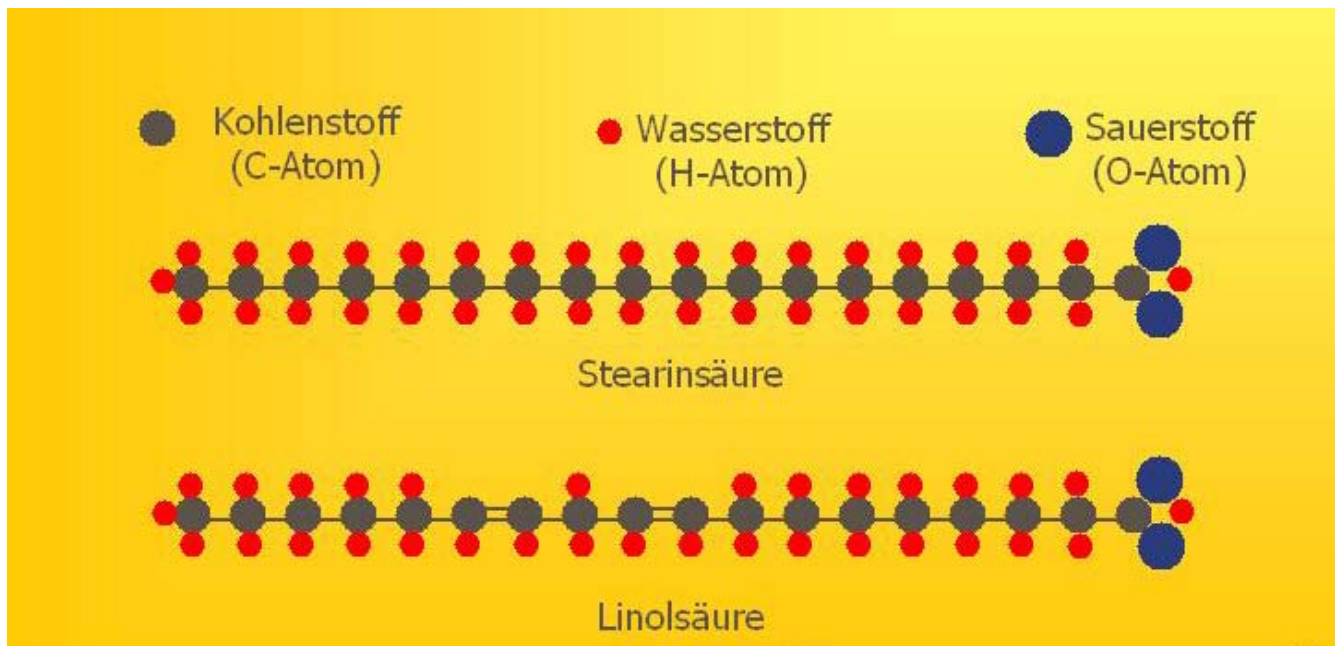
1. Bröcker M.: Transfettsäuren, wie gefährlich sind sie tatsächlich? BMI aktuell, 1, Mai 2005
2. European Food Safety Authority: Trans fatty acids: EFSA Panel reviews dietary intakes and health effects; [www.efsa.eu.int/science](http://www.efsa.eu.int/science), Sept. 2004
3. Hoschek L., Kraft J. und Jahreis G.: Konjugierte Linolsäuren, ihre Bildung aus Vorstufen und ihre Wirkungen – Review; Ernährung/Nutrition (27) Nr. 12, 2003
4. Hübl W.: Cholesterin – Übersicht; [www.med4you.at/laborbefunde](http://www.med4you.at/laborbefunde), Dez. 2004
5. Kindt M.: Die Bedeutung von trans-Fettsäuren in der menschlichen Ernährung; [www.inform24.de](http://www.inform24.de), April 2004
6. Mar A.: Was sind Trans-Fettsäuren? Österr. Bäckerzeitung, Nr. 11/19.03.2005

## Anschrift des Verfassers:

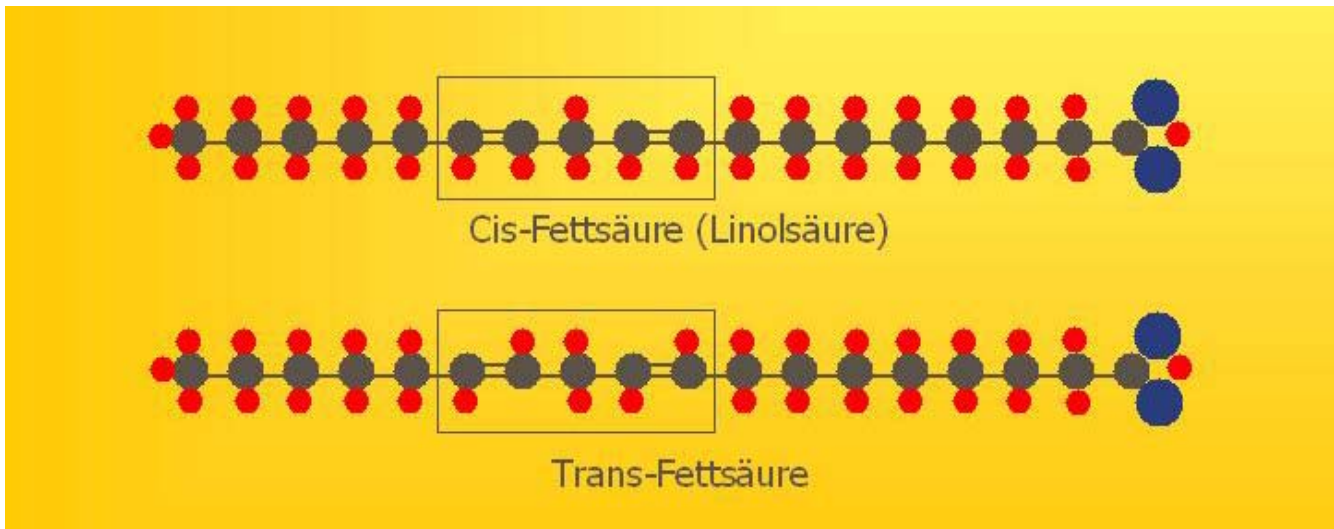
Dipl.-Ing. Alfred Mar  
HTL für Lebensmitteltechnologie  
Carl-Blum-Str. 4  
A-4600 Wels  
Österreich



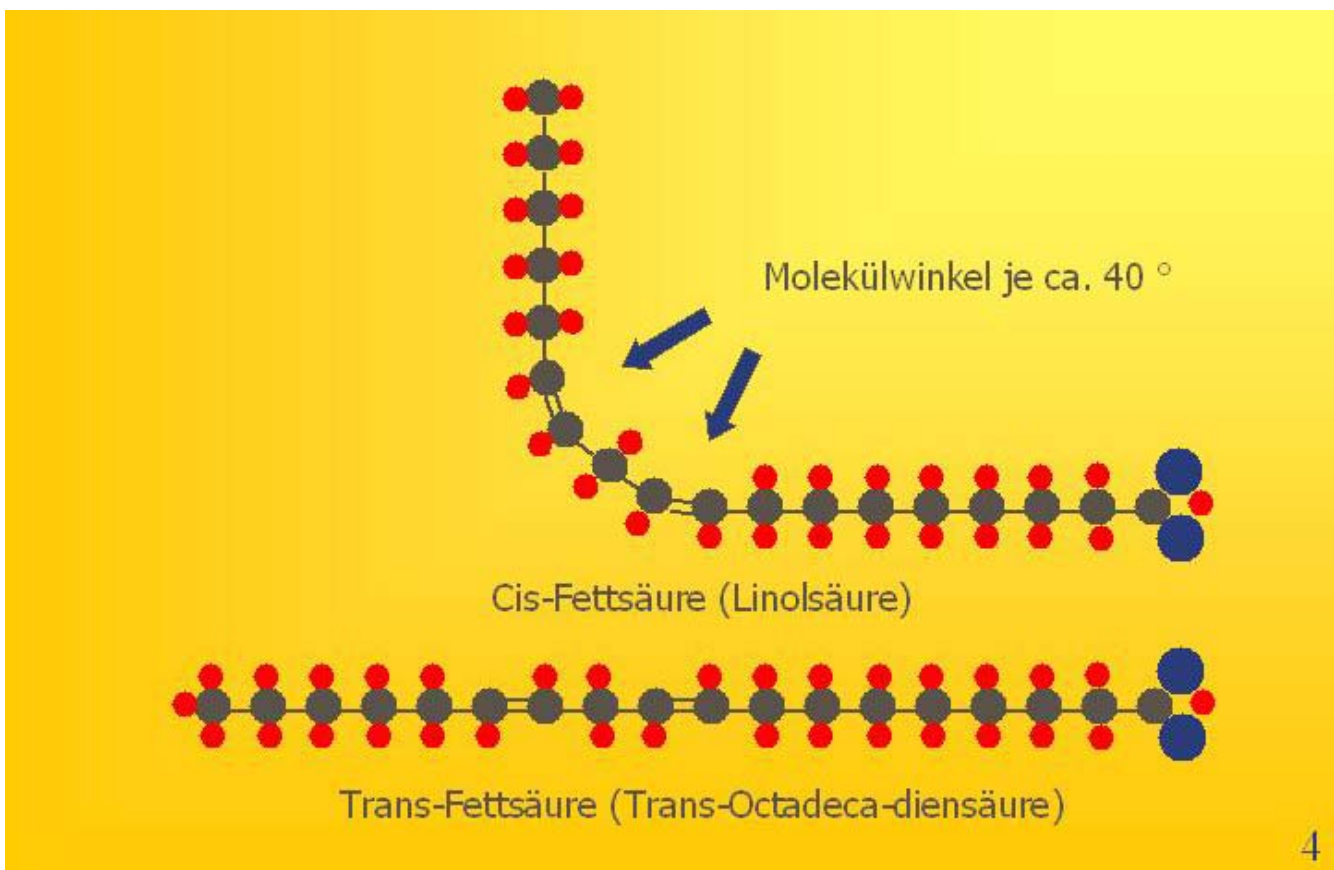
**Abbildung 1:** Aufbau eines Fettmoleküls (Triglycerids) mit Fettsäuren unterschiedlicher Kettenlänge



**Abbildung 2:** Schematische Darstellung von gesättigten und ungesättigten Fettsäuren am Beispiel der gesättigten Stearinsäure und der zweifach ungesättigten Linolsäure, beide mit 18 C-Atomen

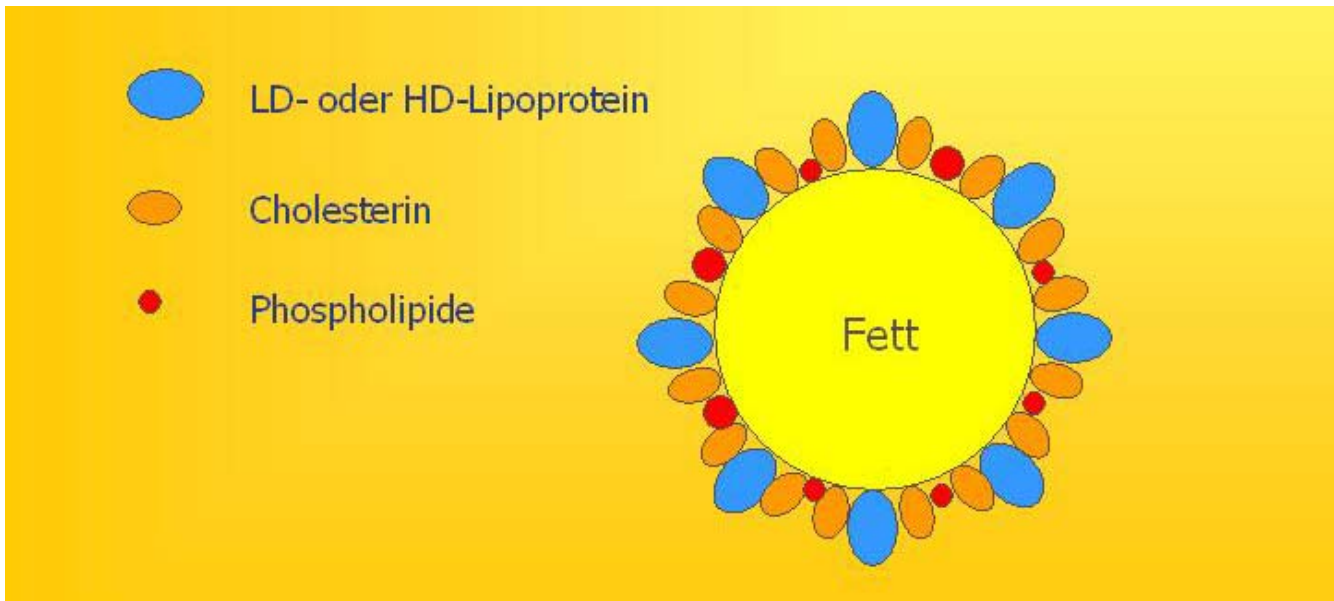


**Abbildung 3:** Schematische Darstellung von Cis- und Trans-Fettsäuren am Beispiel der zweifach ungesättigten Fettsäuren mit 18 C-Atomen (im Rechteck die gegenständlichen Molekülbereiche)

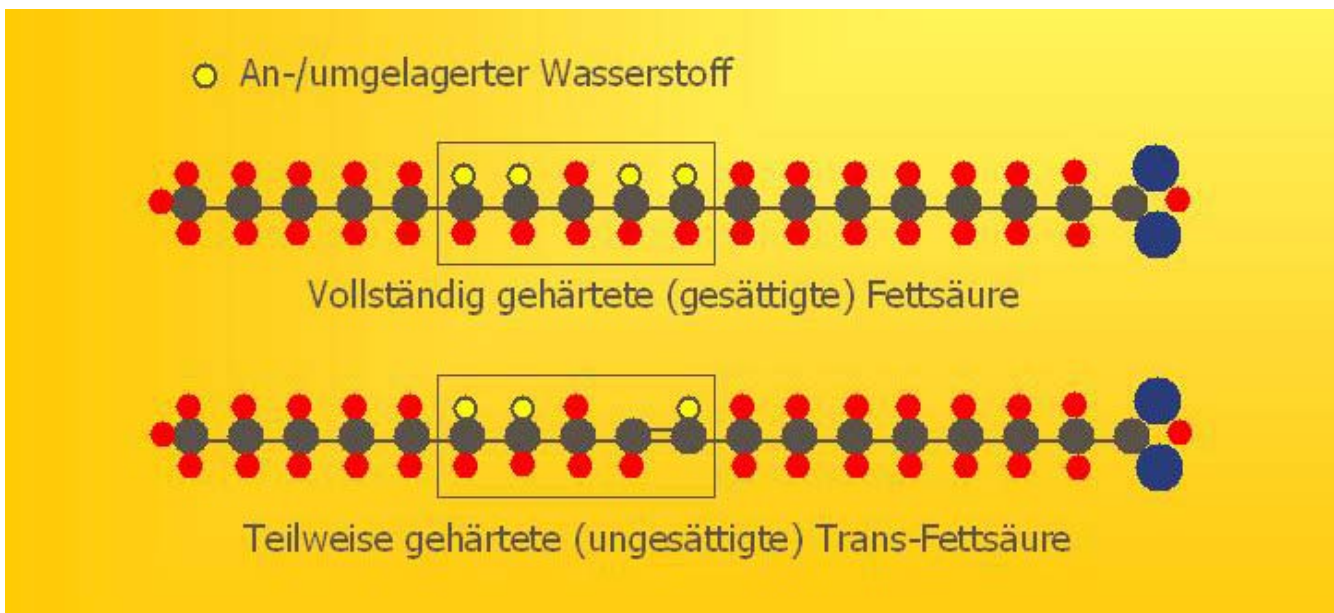


**Abbildung 4:** Schematische Darstellung der räumlichen Anordnung von Cis- und Trans-Fettsäuren





**Abbildung 5:** Transport eines Fetttropfchens im Blut durch Umhüllung mit LDL- und HDL-Cholesterinkomplex



**Abbildung 6:** Schematische Darstellung der vollständigen und teilweisen Fetthärtung mit Wasserstoffan- und -umlagerung