

**Schweizer Milchproduzenten  
Symposium für Ernährungsfachleute  
23.09.2008, Bern**

## **Transfettsäuren: Wie kann ihr Gehalt in unseren Lebensmitteln reduziert werden?**

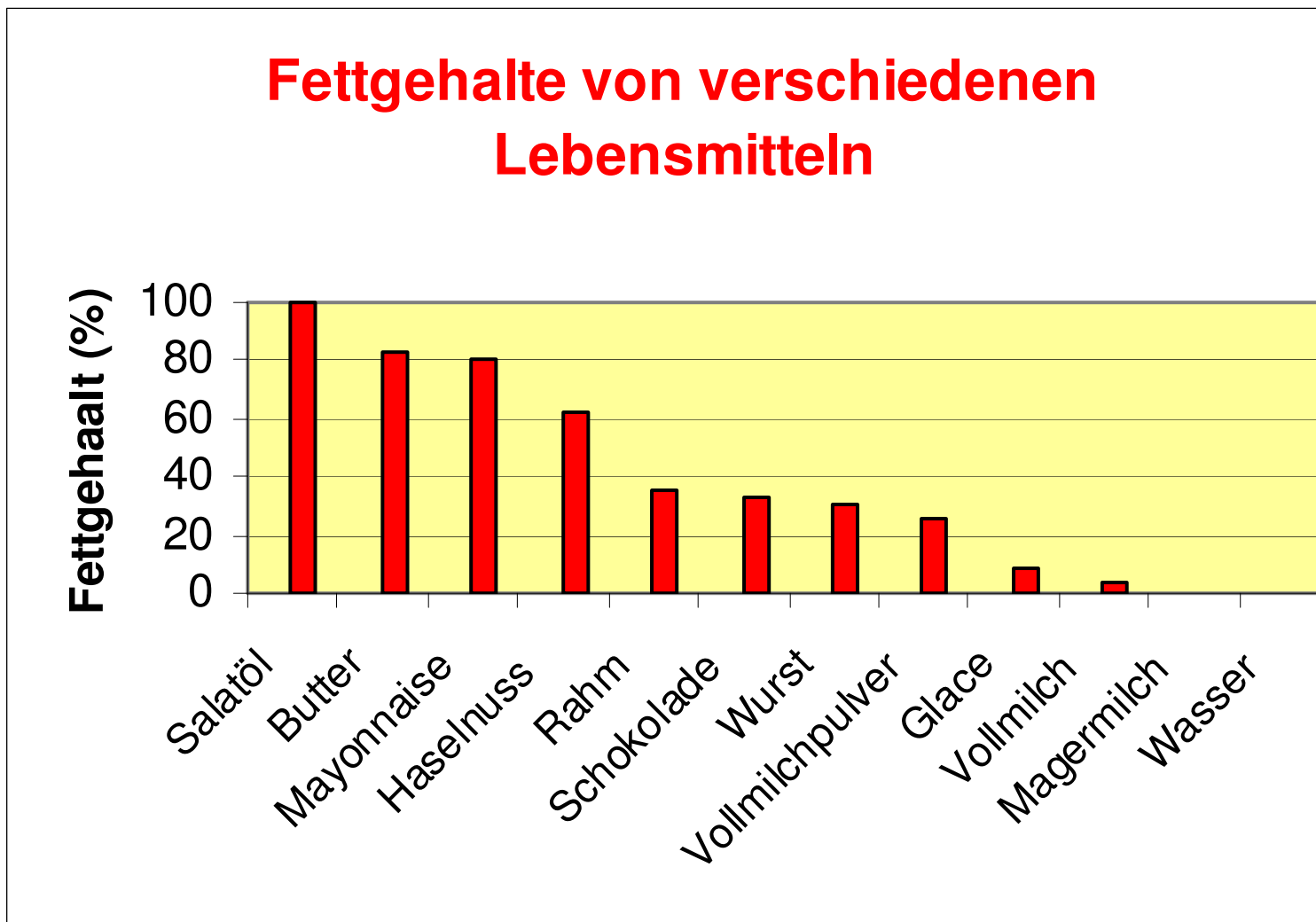
**Dr Constantin Bertoli  
Nestlé Product Technology Centre Konolfingen  
3510 Konolfingen  
constantin.bertoli@rdko.nestle.com**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Fette und Öle: funktionelle Komponenten unserer Lebensmittel</b>	<b>3 – 6</b>
<b>2. Quellen für Transfettsäuren</b>	<b>7 – 11</b>
<b>3. Verfahren zur Modifizierung von Fetten und Ölen</b>	<b>12 – 26</b>
– <b>Fraktionierung</b>	<b>13 – 15</b>
– <b>Härtung</b>	<b>16 – 22</b>
– <b>Umesterung</b>	<b>23 – 26</b>
<b>4. Herausforderungen beim Ersatz von TFA-haltigen Fetten</b>	<b>27 – 29</b>
<b>5. Zusammenfassung</b>	<b>30</b>
<b>6. Literatur</b>	<b>31</b>

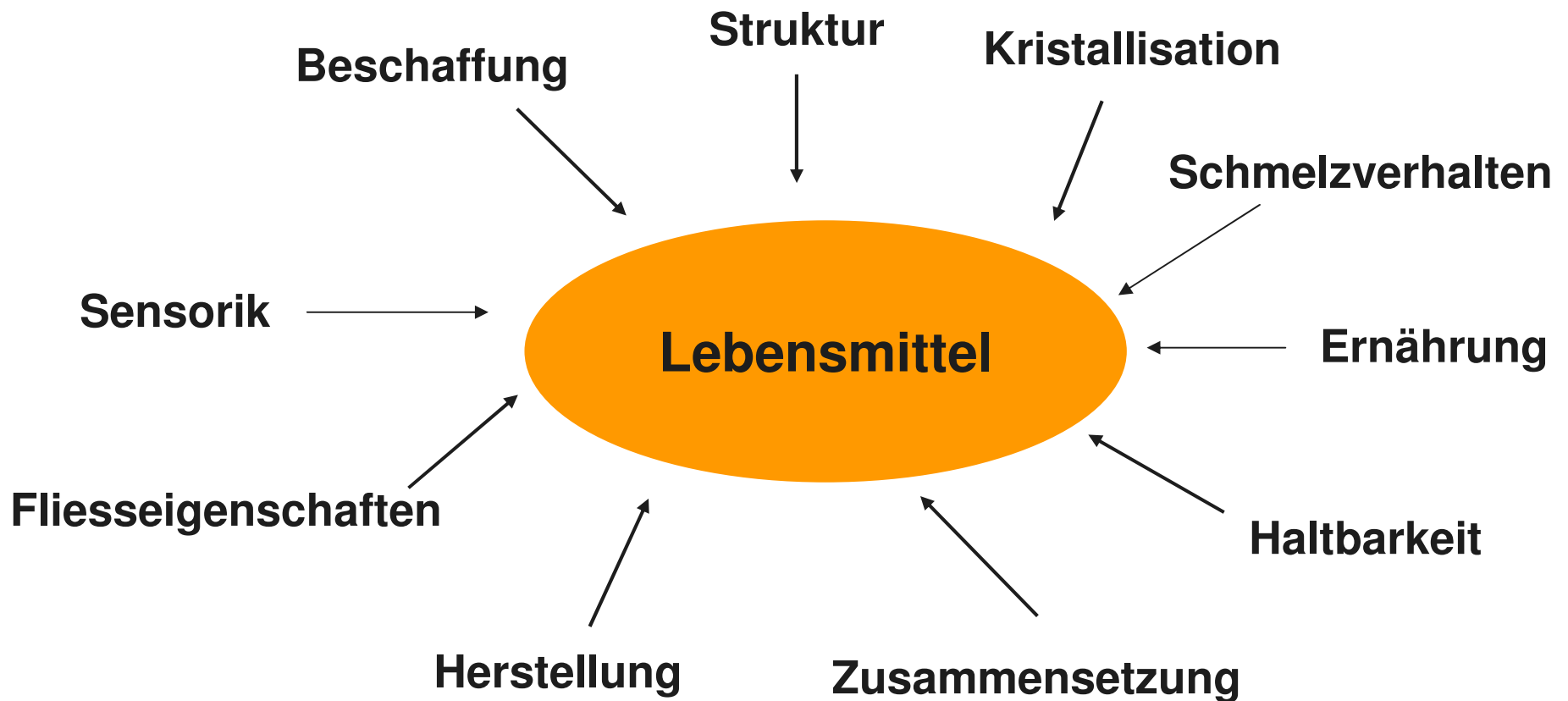
Der Fettgehalt unserer Lebensmittel variiert zwischen 0 und 100 %.

## 1. Fette /Öle in Lebensmitteln



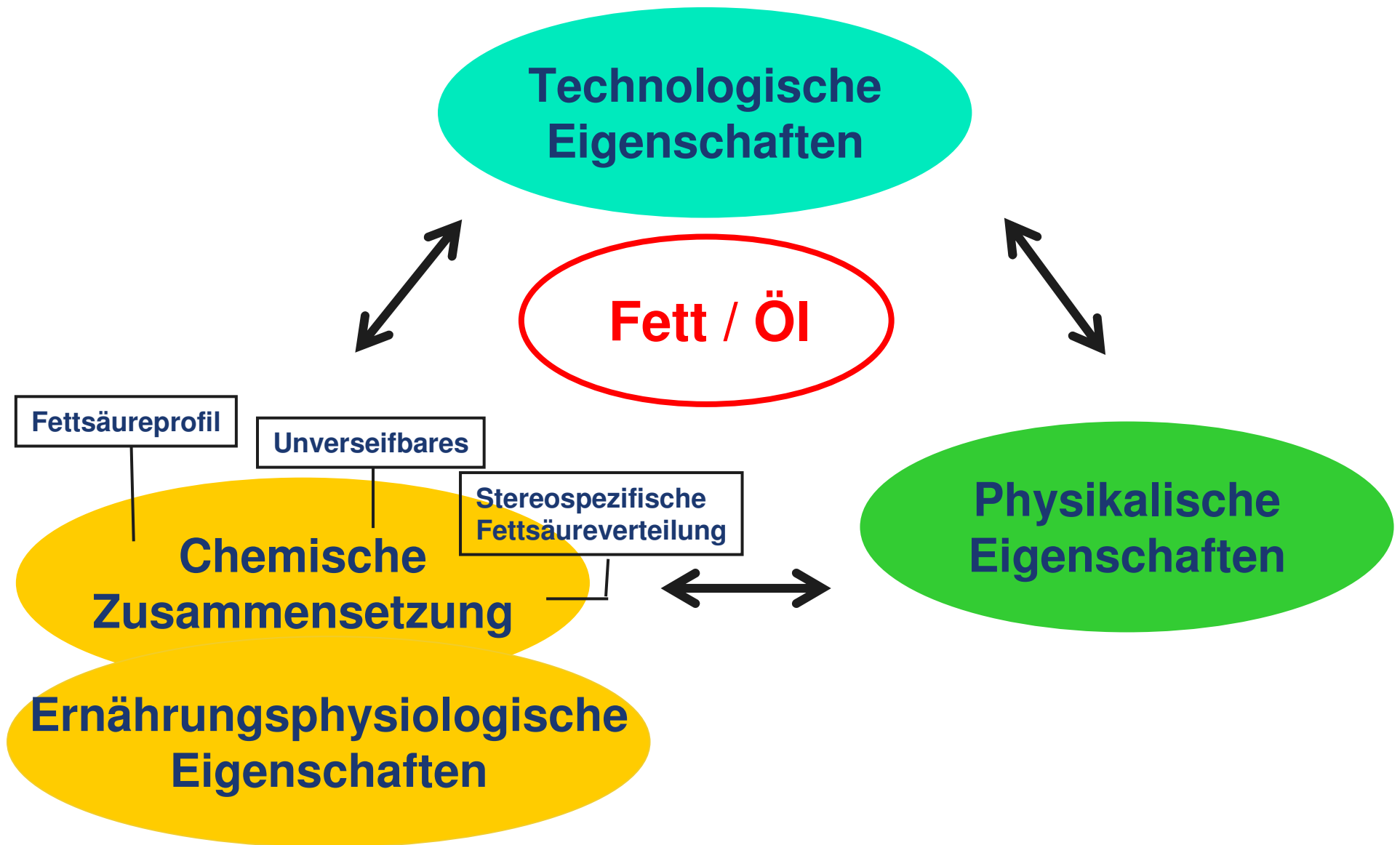
Viele Produkteigenschaften werden durch die Fett- / Ölkomponente im Lebensmittel beeinflusst oder gar bestimmt.

## 1. Fette / Öle in Lebensmitteln



Die chemischen und physikalischen Eigenschaften eines Fettes bestimmen seine technologischen Eigenschaften.

1. Fette / Öle in Lebensmitteln



Die technologischen Eigenschaften der natürlich verfügbaren Fette und Öle genügen nicht für die moderne Lebensmittelherstellung.

## 1. Fette /Öle in Lebensmitteln

### Saat- / Fruchtöle:

Baumwollsaatöl  
Distelöl  
Maiskeimöl  
Olivenöl  
Rapsöl  
High oleic Rapsöl  
Sonnenblumenöl  
High oleic Sonnenblumenöl  
Sojaöl

**Palmöle:**  
Palmöl  
Palmoleine  
Palmstearine

**Tierische Fette:**  
Butterfette  
Fischöle  
Rindertalg  
Schweineschmalz

**Schokoladefette:**  
Kakaobutter  
Mangokernfett  
Illipébutter\*  
Sal\*  
Sheabutter\*

\* Wild Fats

**Laurische Fette:**  
Kokosnussöl  
Palmkernöl

→ Der Lebensmittelindustrie stehen ca. 20 natürlich vorkommende Fette und Öle zur Verfügung.

### Quellen von Transfettsäuren

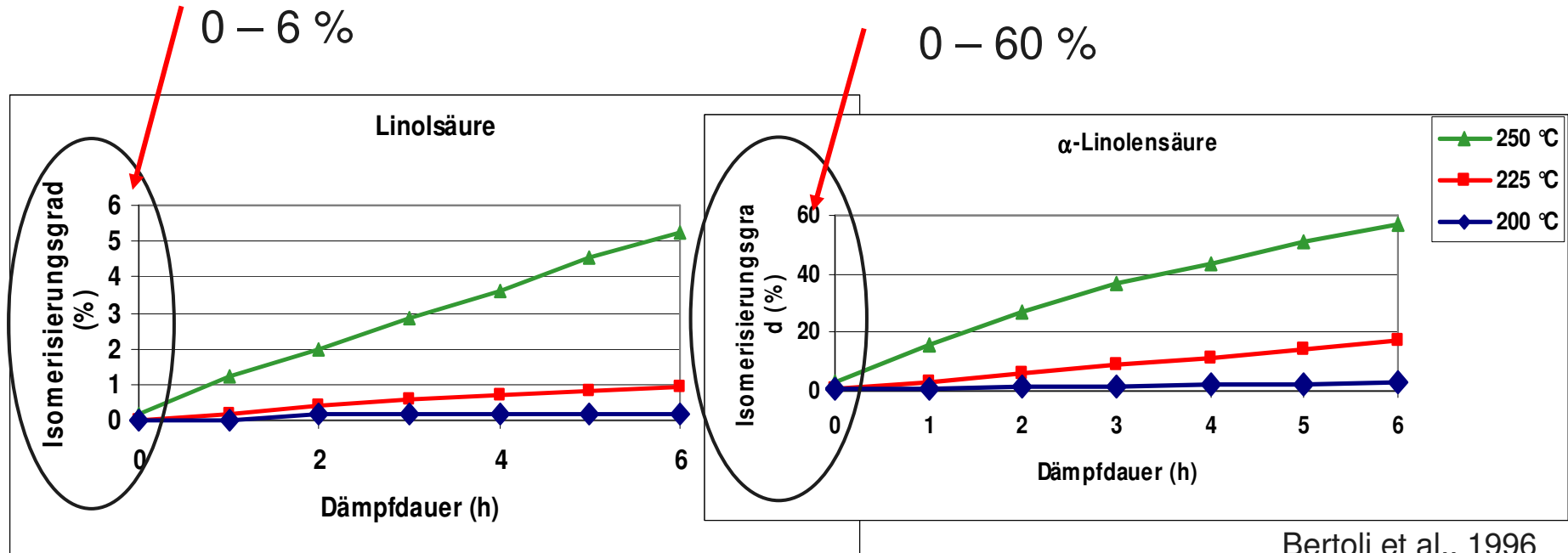
- Dämpfung von Ölen mit mehrfach ungesättigten Fettsäuren
  - Artefakt der Raffination
  - In allen Fetten und Ölen
  - Typisch: <2 %, hochwertige Produkte: <1 %
- Wiederkäuerfette
  - Milchfett und Körperfette
  - Bis zu 8 %, häufig unter 5 %
- Teilgehärtete Fette und Öle
  - Bis zu 60 % Transfettsäuren

Mehrfachungesättigte Fettsäuren sind sehr empfindlich auf *trans*-Isomerisierung.

2. Transfettsäurequellen

***trans*-Isomerisierung von mehrfachungesättigten Fettsäuren während der Dämpfung**

## Modellstudie: Rapsöl



**Definition Isomerisierungsgrad (%):**

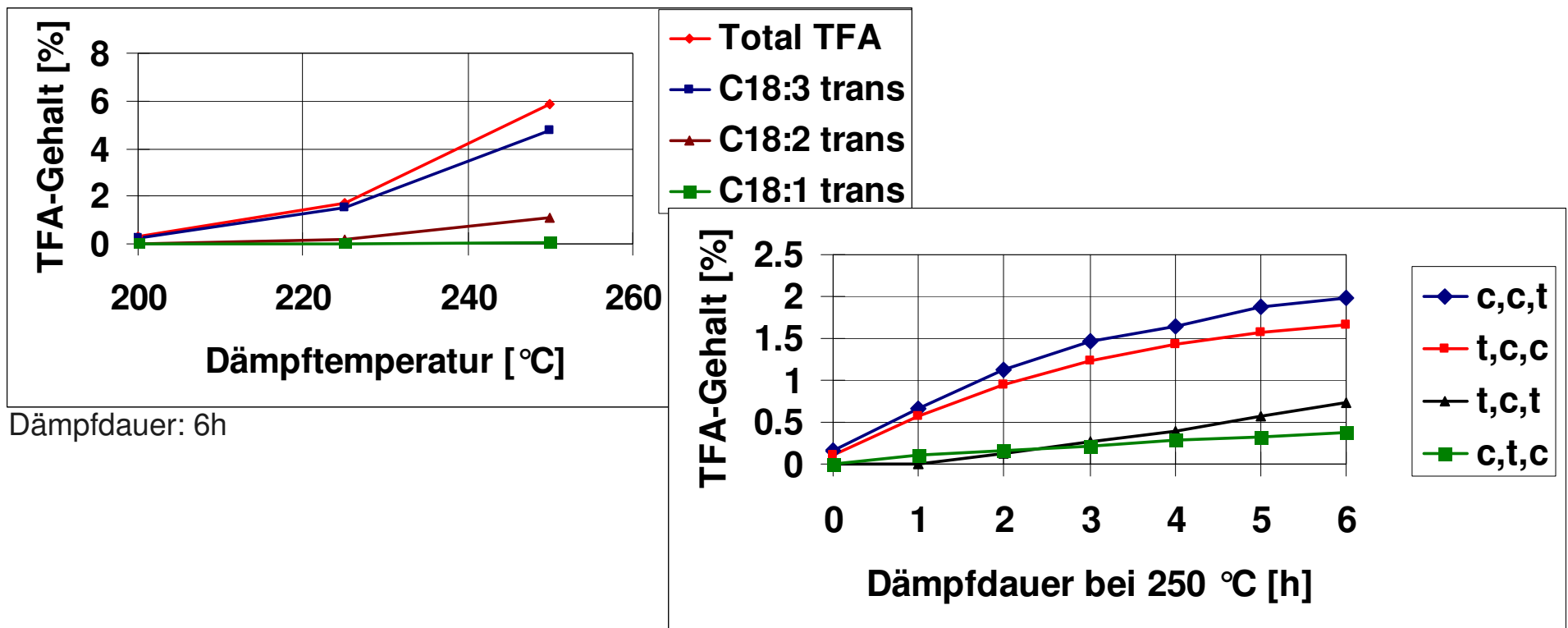
***trans*-Isomere Fettsäure / (*cis*- + *trans*-Isomere Fettsäure) x 100**

**C18:1: Isomerisierungsgrad < 0.1 %**

# Die Dämpfemperatur und -dauer bestimmen den *trans*-Isomeren-Gehalt.

## 2. Transfettsäurequellen

*trans*-Isomerisierung von Rapsöl während der Dämpfung:  
Gesamt TFA-Gehalt und Isomerenverteilung



Bertoli *et al.*, 1996

Öle auch mit einem hohen Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren können heute industriell mit <1 % TFA hergestellt werden.

Im Wiederkäuermagen werden Transfettsäuren durch Bakterien gebildet.

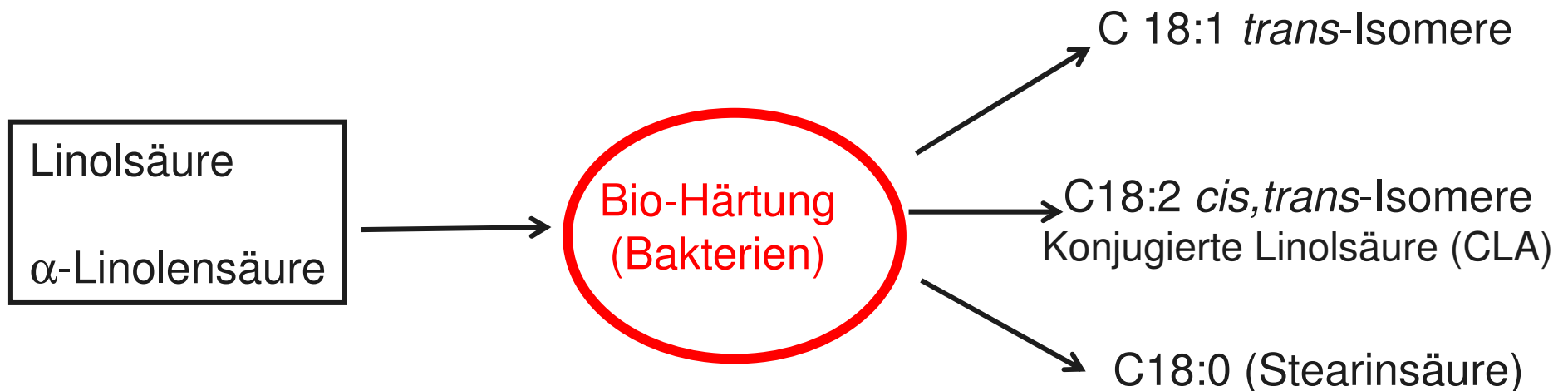
2. Transfettsäurequellen

## *trans*-Isomere in Wiederkäuerfetten

Futter der Wiederkäuer

Pansen

Milchfett



Wiederkäuer-Milchfette: 1 - 6 (8) % *trans*-Isomere abhängig von der Fütterung, Rasse, Klima

Die Verwendung von teilgehärteten Fetten ist in den vergangenen 5 Jahren sehr stark zurückgegangen.

2. Transfettsäure-  
quellen

## Teilhärtung

- Wichtigste Quelle für Transfettsäuren
- Wird im folgenden Kapitel ausführlich diskutiert
- Teilgehärtete Fetten werden mehr und mehr ersetzt durch:
  - Umgeesterte Fette
  - Fraktionierte Fette
  - High oleic Öle

Mit physikalischen und chemischen Methoden können die technologischen Eigenschaften der Fette und Öle gezielt modifiziert werden.

3. Modifizierung  
von Fetten / Ölen

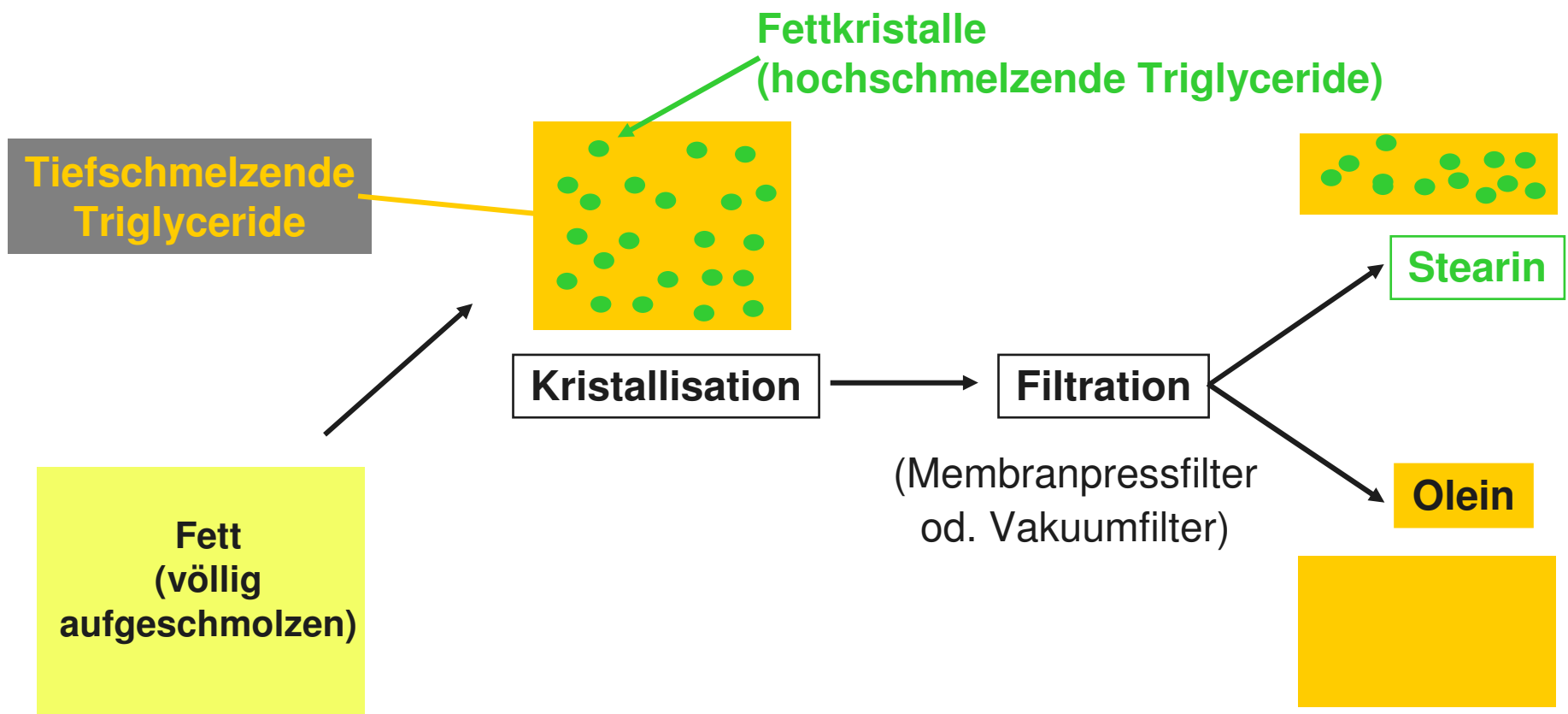
## Verfahren zur Modifizierung von Fetten und Ölen

- **Physikalische Verfahren:**
  - Mischen von Fetten und Ölen
  - Fraktionierung
- **Chemische Verfahren mit Änderung an den Fettsäuren:**
  - Teilhärtung
  - Durchhärtung
- **Chemische Verfahren ohne Änderung an den Fettsäuren:**
  - Umesterung
- **Kombinationen obiger Verfahren**

Fraktionierung ergibt immer 2 Produkte,  
für beide sollte es eine Verwendung geben

3. Modifizierung  
von Fetten / Ölen

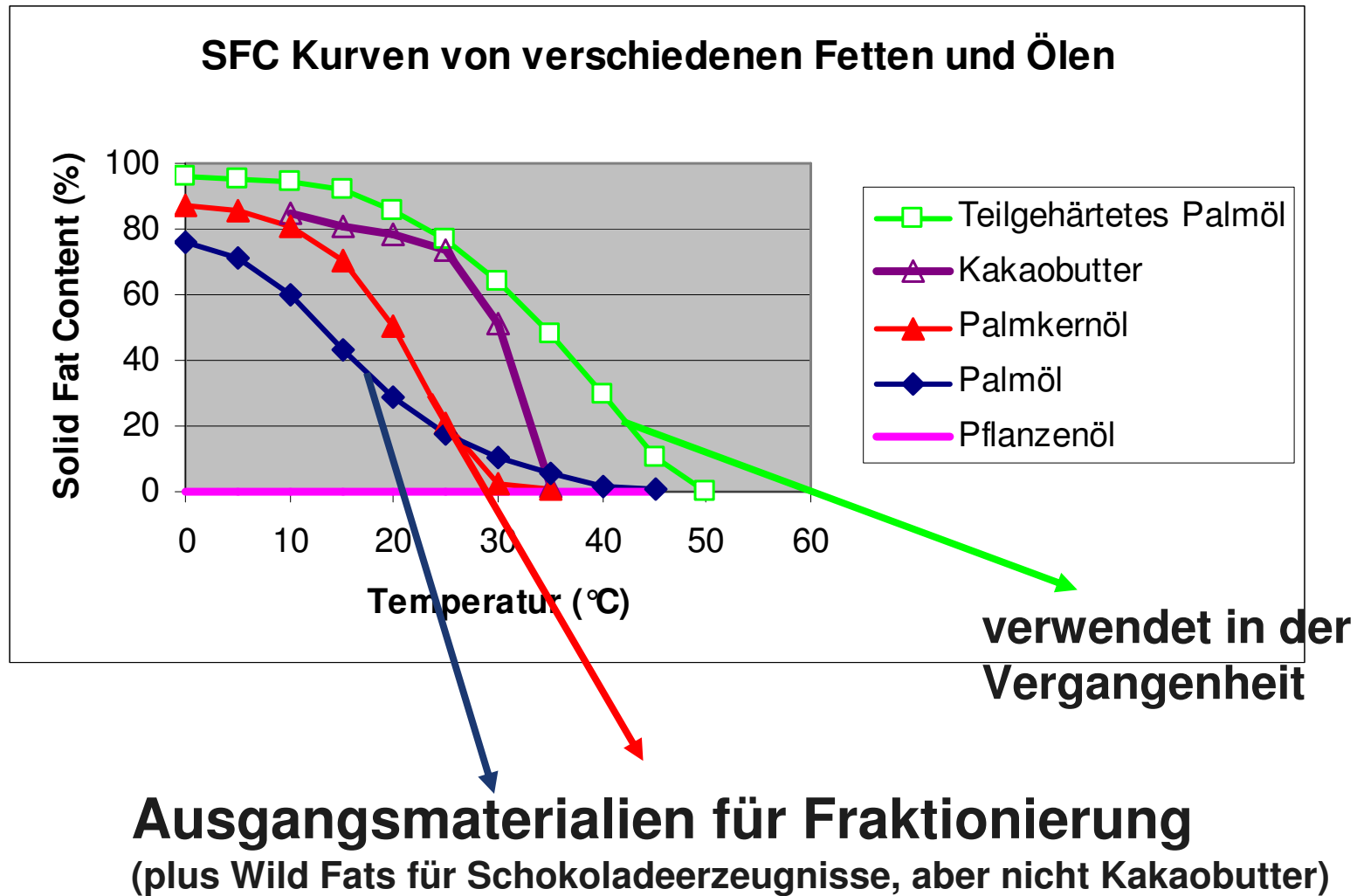
## Prinzip der Trockenfraktionierung



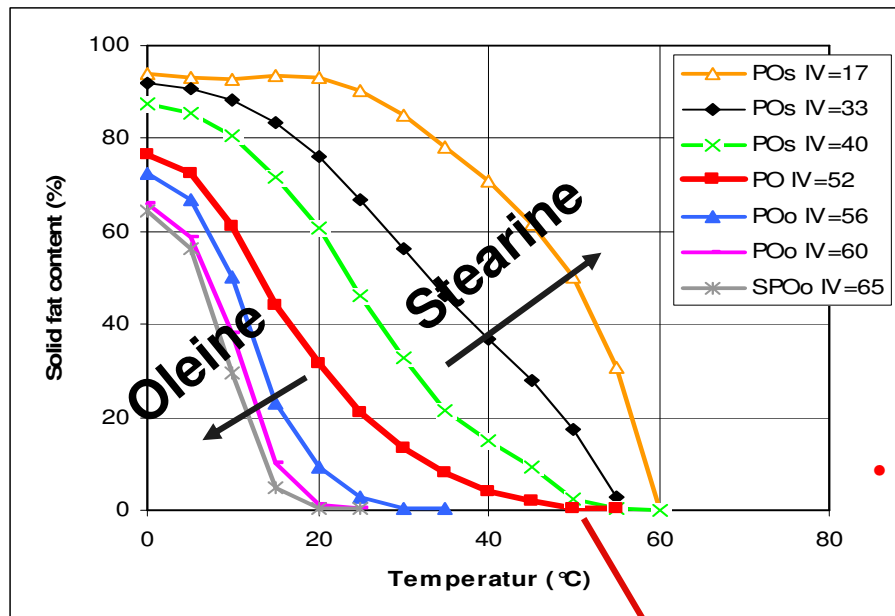
Bsp.: Ausbeute Olein 70 %

# Es stehen nur ganz wenige Fette für die Fraktionierung zur Verfügung

## 3. Modifizierung von Fetten / Ölen



### Solid Fat Content: Palmöl und Palmfraktionen



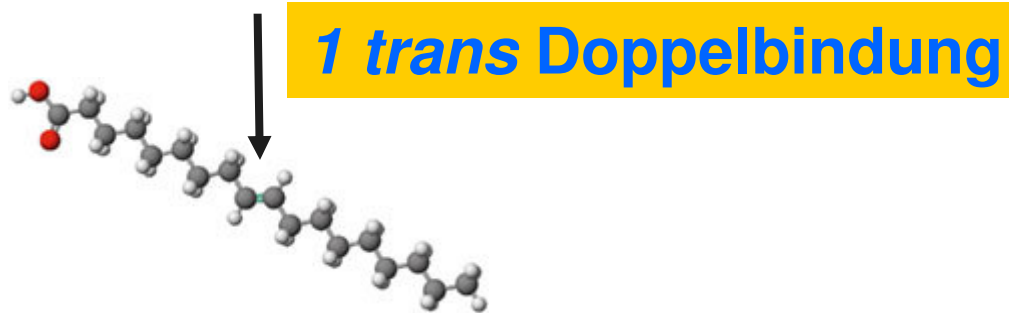
PO: Palmöl  
 POs: Palmstearin  
 POo: Palmolein  
 SPOo: Superpalmolein  
 IV: Iodine value (Jodzahl)

**Ausgangsmaterial**

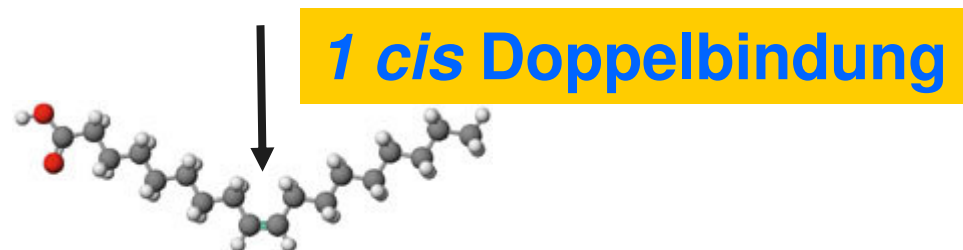
- **Palmstearine:**
  - Hochschmelzend, hart, wachsig
  - Bildung vom grossen Kristallen:
    - schlechte Einbindung von flüssigen Fraktionen (Ausölen)
    - Sandige Textur
  - Abgereichert an natürlichen Antioxidantien (Tocopherole / Tocotrienole)
    - Reduzierte oxidative Stabilität im Vergleich zu Palmöl trotz tiefem Gehalt an ungesättigten Fettsäuren
- **Palmoleine:**
  - Fraktionen mit geringem Anteil an Festfett bei Raumtemperatur bis flüssig bei 10 °C
  - Angereichert an natürlichen Antioxidantien (Tocopherole / Tocotrienole)
    - Gute oxidative Stabilität im Vergleich zu Palmöl trotz erhöhtem Gehalt an ungesättigten Fettsäuren

TFA-haltige Fette haben einen mittelhohen Schmelzpunkt was sie technologisch sehr interessant macht.

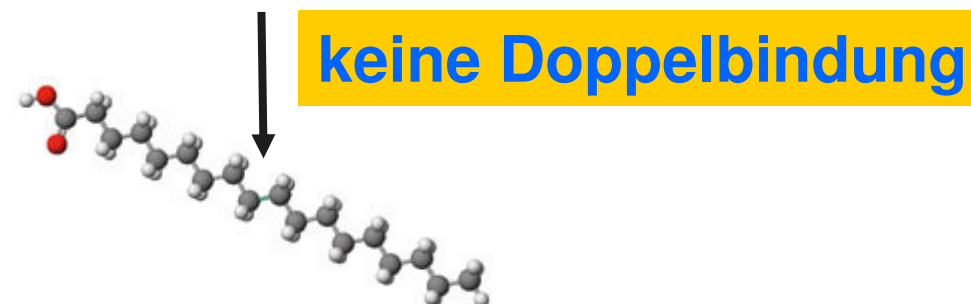
3. Modifizierung von Fetten / Ölen



Elaidinsäure (*trans* C18:1 $\Delta$ 9)  
Schmelzpunkt (Smp): 43.7 °C  
Trielaidin: Smp 42 °C



Ölsäure (*cis* C18:1 $\Delta$ 9)  
Schmelzpunkt: 16.3 °C  
Triolein: Smp 5.5 °C



Stearinsäure (C18:0)  
Schmelzpunkt: 69.6 °C  
Tristearin: Smp 73 °C

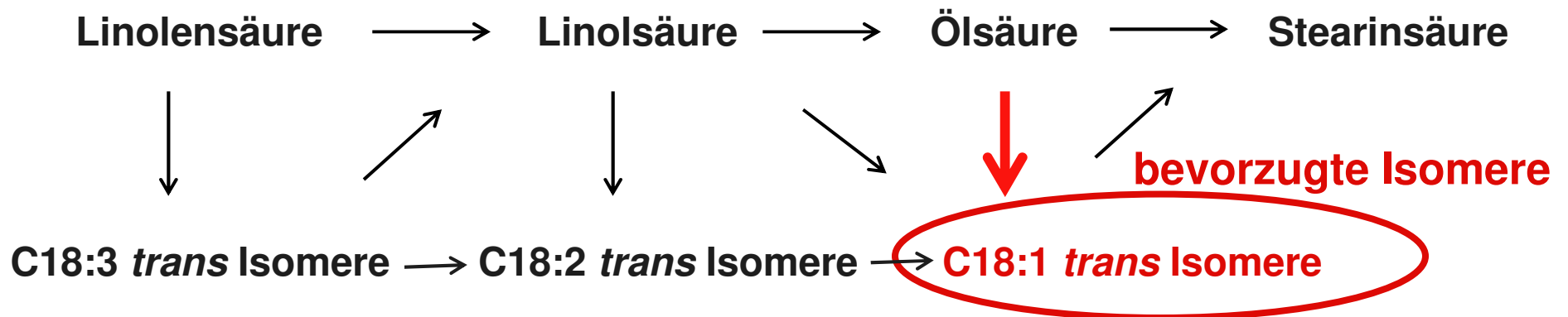
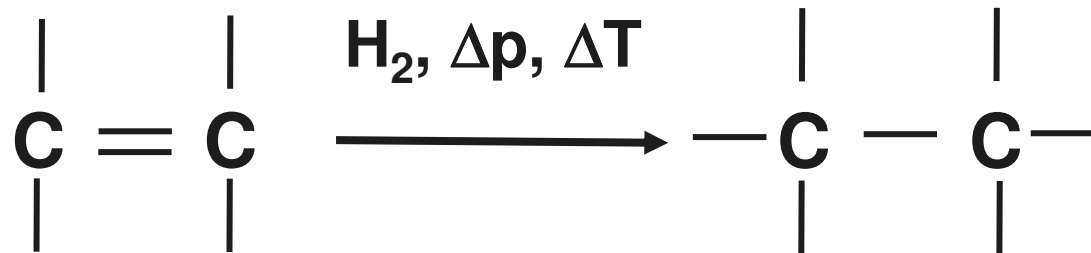
## **Wieso werden Fette und Öle gehärtet?**

- **Funktionalität:**
  - **Festfettanteil (Solid fat content)**
  - **Kristallisationseigenschaften**
  - **Schmelzverhalten**
  
- **Oxidative Stabilität:**
  - **Haltbarkeit des Fettes**
  - **Haltbarkeit des Lebensmittels**

## Die Geschichte der Fetthärtung

- 1897:** Sabatier und Senderens entdecken die katalytische Härtung  
Reduktion von Ethylen zu Ethan in Gegenwart von Wasserstoff und einem metallischen Katalysator
- 1902:** der deutsche Chemiker Wilhelm Normann meldet das erste Patent an, das die Fetthärtung beschreibt
- Ab 1905:** die Seifenindustrie wendet als erste die Fetthärtung an um billige Rohstoffe zu produzieren.  
Die Lebensmittelindustrie (Margarine) folgt erst einige Jahre später.
- 2. Hälfte 20. Jh.:** wichtigstes Modifizierungsverfahren für Lebensmittelfette und -öle
- 1990:** Mensink und Katan: *trans*-Fettsäuren beeinflussen negativ das LDL-/HDL-Cholesterin-Profil, Erhöhung des Risikos für Herz-Kreislauf-erkrankungen
- Ab 2000:** Fetthärtung wird mehr und mehr zum unerwünschten Fettmodifizierungsverfahren

## Schema des Härtungsprozesses

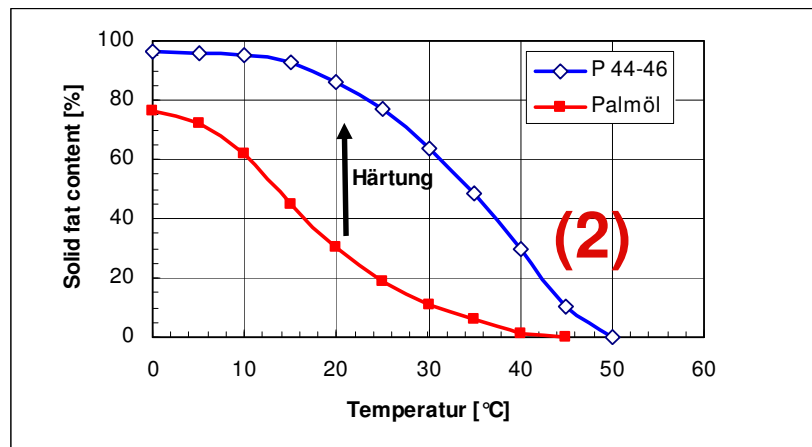


Sehr breites Spektrum an Positionsisomeren bei allen drei Fettsäuren.

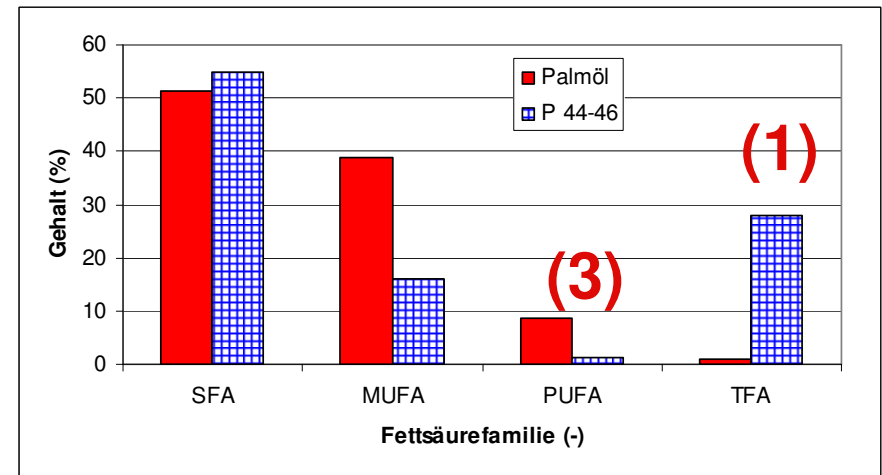
# Teilhärtung verändert die physiko-chemischen Eigenschaften eines Fettes/Öles grundlegend.

## 3. Modifizierung von Fetten / Ölen

### Solid Fat Content Kurve von Palmöl und teilgehärtetem Palmöl



### Veränderung des Fettsäureprofils durch Teilhärtung



### Eigenschaften von teilgehärteten Fetten:

- Oft sehr hoher TFA-Gehalt (bis zu 60 %) (1)
- Hoher Festfettgehalt (2)
- Gute sensorische (Schmelz)eigenschaften
- Sehr tiefer Gehalt an mehrfachungesättigten Fettsäuren (3)
- Oxidativ sehr stabil (4)

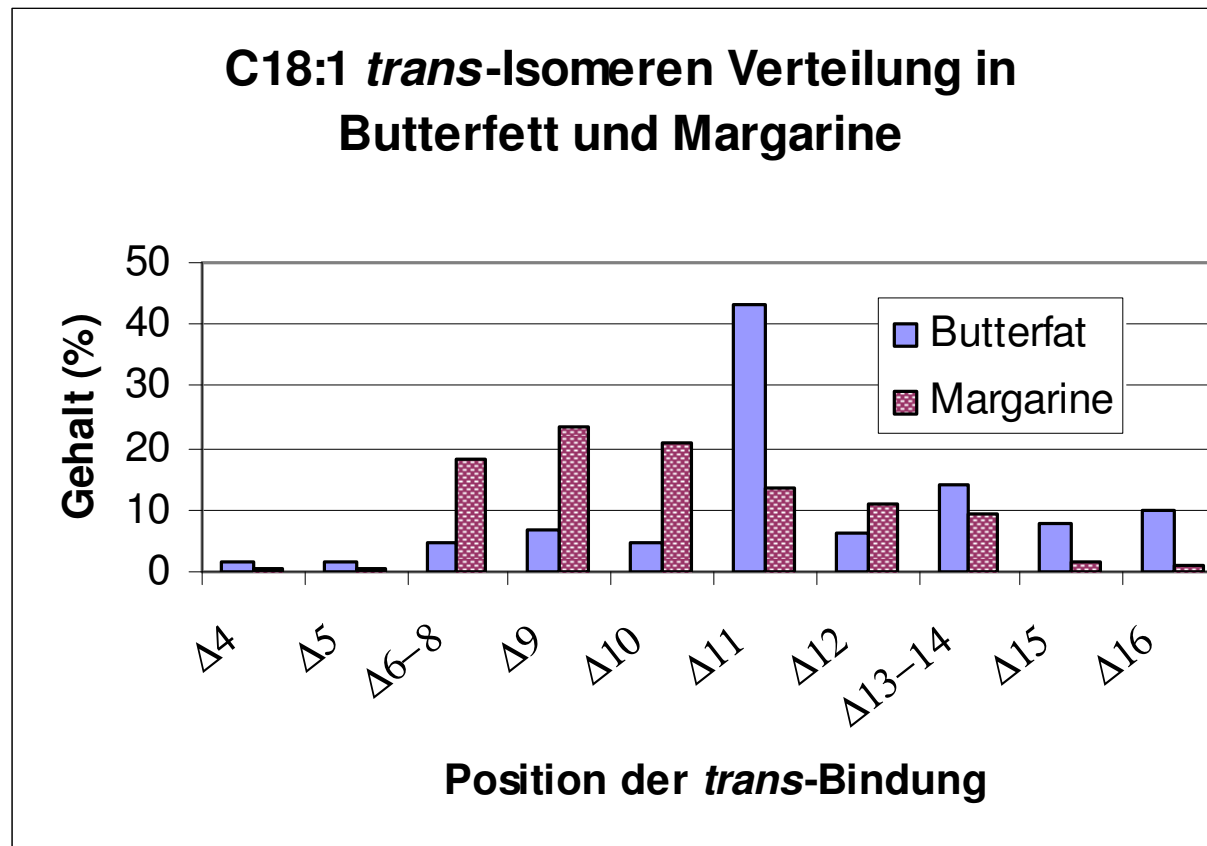
Rancimat Induktionszeit bei 120 °C:

Palmöl: 14 h

P 44-46: 43 h (4)

# Gehärtete Fette und Milchfett haben ein sehr unterschiedliches *trans*-Isomeren-Profil.

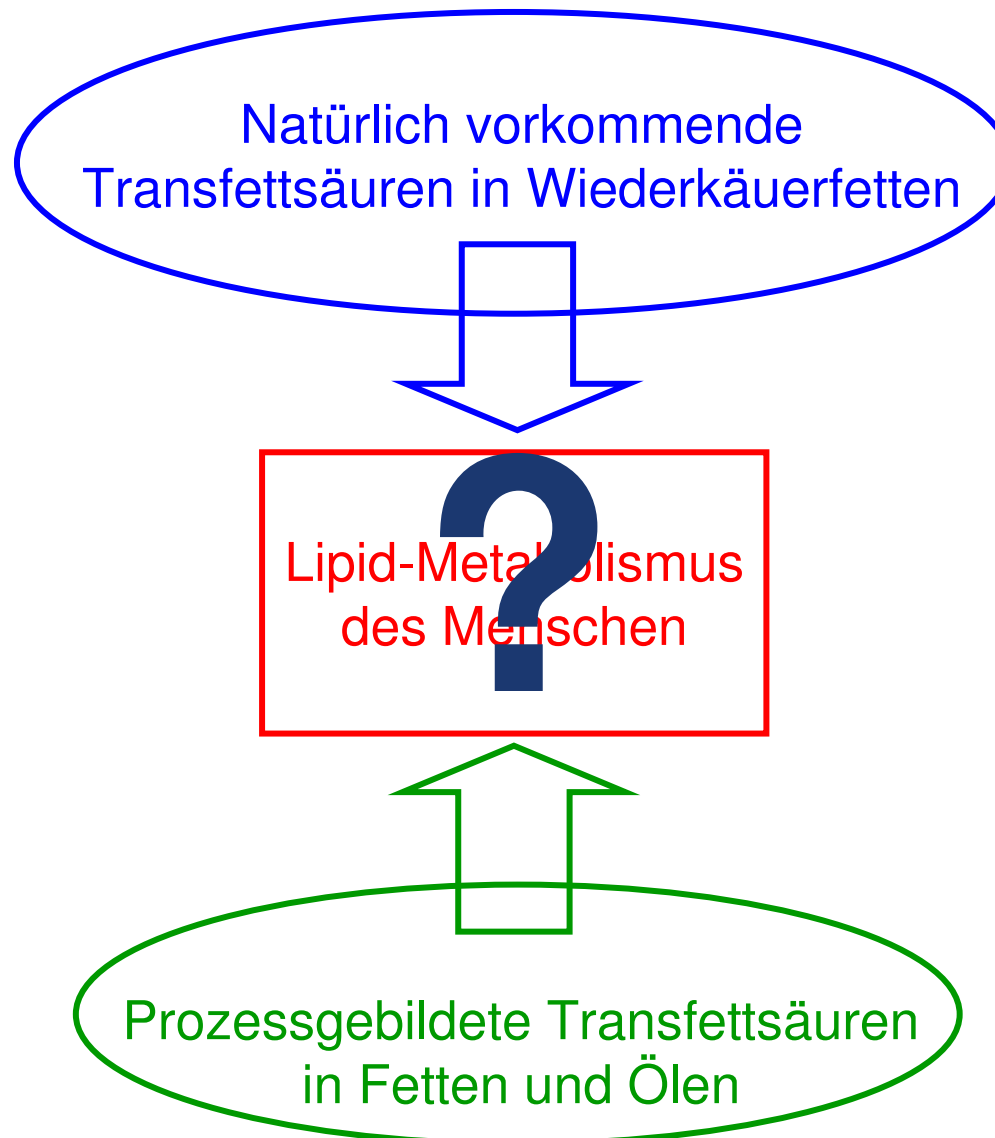
## 3. Modifizierung von Fetten / Ölen



Precht & Molquentin, 1995

# Welche Wirkungen haben die verschiedenen *trans*-Isomere auf unseren Lipid-Metabolismus?

## 3. Modifizierung von Fetten / Ölen



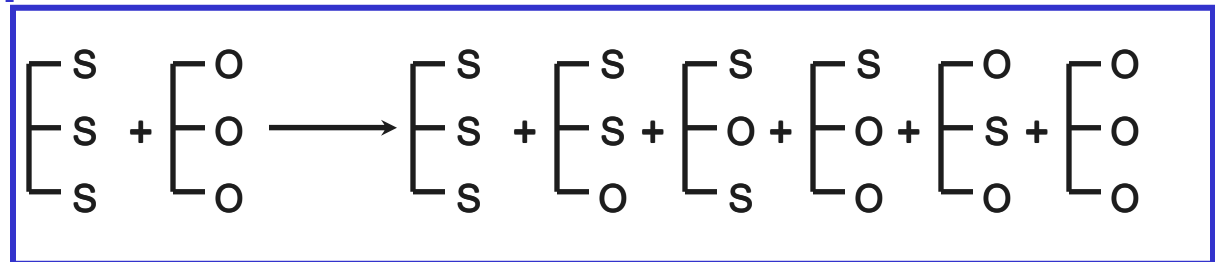
Einige Lieferanten sind derzeit dabei von der chemischen zur enzymatischen Umesterung zu wechseln.

3. Modifizierung von Fetten / Ölen

## Umesterung

### Chemische Umesterung:

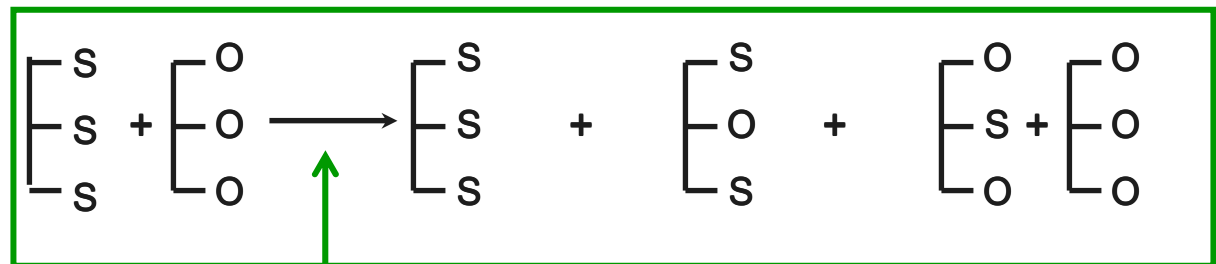
Katalysator:  
Natriummethylat



### Enzymatische Umesterung :

Katalysator:

- unspezifische Lipase
- *sn*-1,3 spezifische Lipase



S: Stearinsäure, O: Ölsäure

*sn*-1,3 spezifische Lipase

Das Verfahren der Umesterung hat wieder eine enorme Bedeutung bekommen.

3. Modifizierung von Fetten / Ölen

## Umesterung: ein wiederentdecktes Verfahren (Herstellung von TFA-armen Fetten)

Palmöl



Durchhärtung  
( $\Delta T$ ,  $\Delta p$ ,  $H_2$ , Ni als Katalysator)

Durchgehärtetes Palmöl  
(FHPO)

+

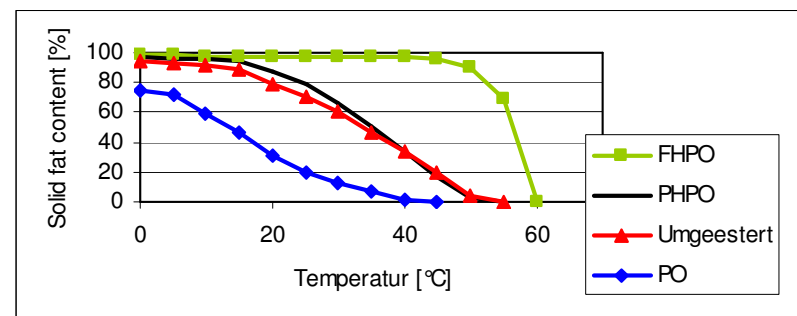
Palmöl (PO)

50 % gesättigte Fettsäuren  
50 % ungesättigte Fettsäuren

Nur gesättigte Fettsäuren:  
55 % Stearinsäure, C18:0  
45 % Palmitinsäure, C 16:0

Mischen

Umesterung  
( $\Delta T$ ,  $\Delta t$ ,  
Na-methylat als Katalysator)



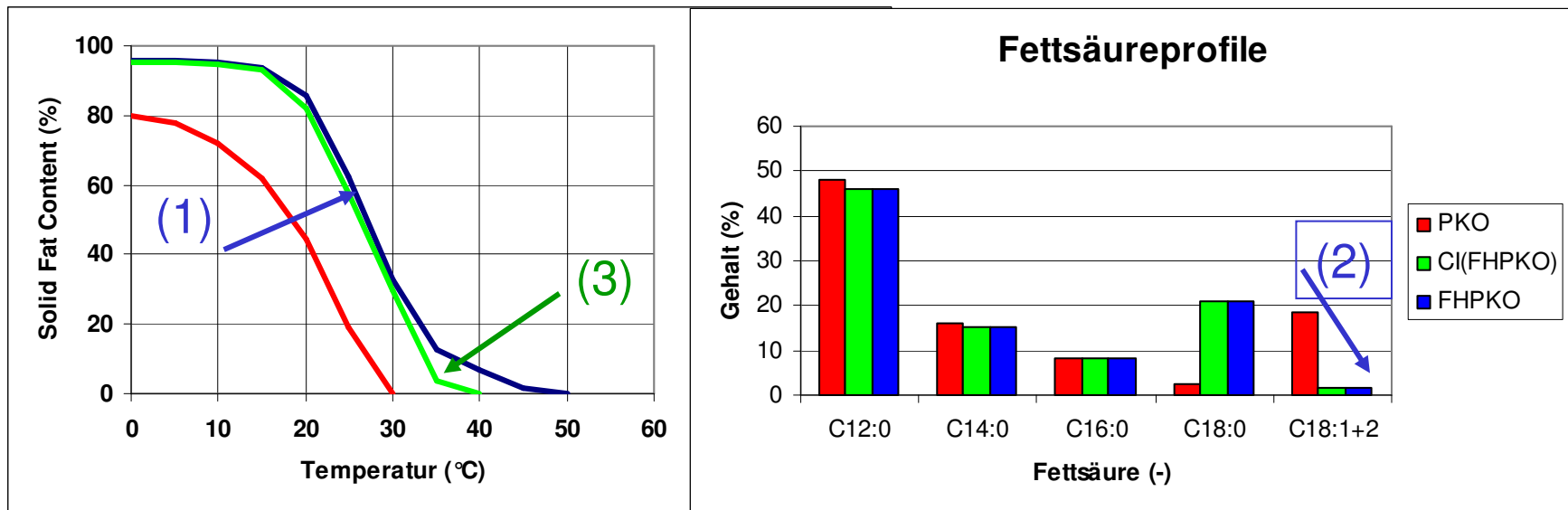
TFA: max. 1 %

PHPO: teilgehärtetes Palmöl  
(zu ersetzen)

# Die Kombination von Durchhärtung und Umesterung ergibt Fette mit interessanten funktionellen Eigenschaften.

## 3. Modifizierung von Fetten / Ölen

### Kombination von verschiedenen Modifizierungsverfahren



**Härtung:** Erhöhung des Festfettanteiles (1)  
Reduzierung der ungesättigten Fettsäuren (2)

**Umesterung:** Verbesserung des Abschmelzverhaltens (3)  
Keine Veränderung des Fettsäureprofils

**trans-Isomere:** Spuren

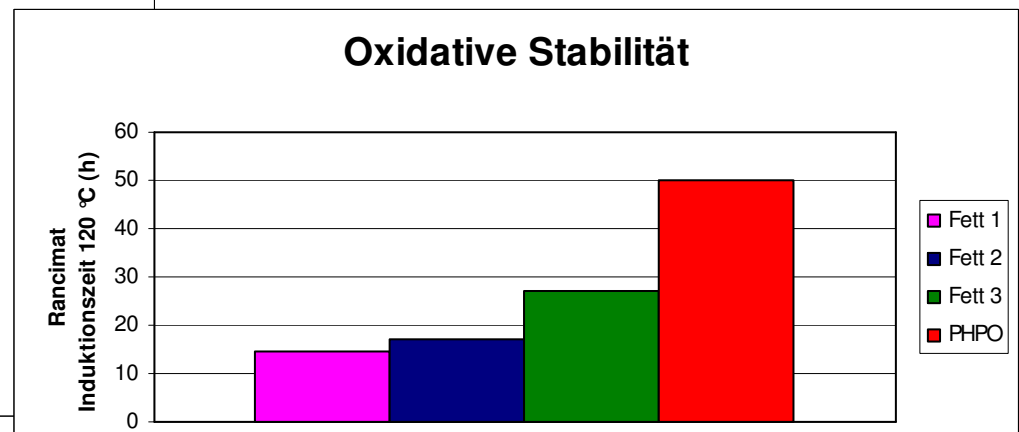
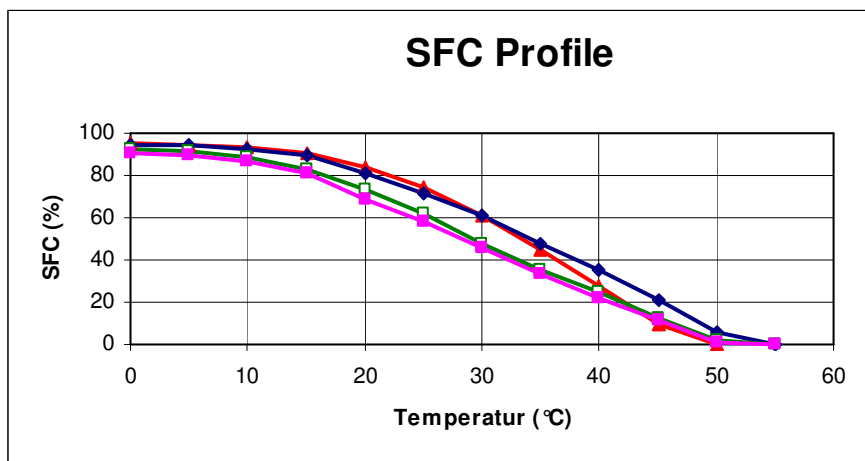
**PKO:** Palmkernöl  
**FHPKO:** völlig durchgehärtetes PKO  
**CI(FHPKO):** chemisch umgeestertes FHPKO

<b>Fett- / Öltyp</b>	<b>TFA-Gehalt</b>
<b>Extra virgin Öle</b>	<b>keine TFA</b>
<b>Raffinierte Pflanzenöle und -fette</b>	<b>max. 1 %</b>
<b>Fraktionierte Fette</b>	<b>max. 1 %</b>
<b>Teilgehärtete Fette</b>	<b>bis zu 60 %</b>
<b>Durchgehärtete Fette</b>	<b>max. 1.5 %</b>
<b>Umgeesterte Fette</b>	<b>häufig &lt; 2 % aber abhängig von den Rohmaterialien</b>
<b>Milchfette von Wiederkäuern</b>	<b>bis zu 8 %, meist &lt; 6 %</b>
<b>Körperfett von Wiederkäuern</b>	<b>bis zu 6 %, häufig tiefer</b>
<b>Schweinefett</b>	<b>max. 2 %</b>
<b>Geflügelfette</b>	<b>max. 2 %</b>

Mehrere Parameter müssen gemessen werden um die Verwendbarkeit eines Fettes zu evaluieren.

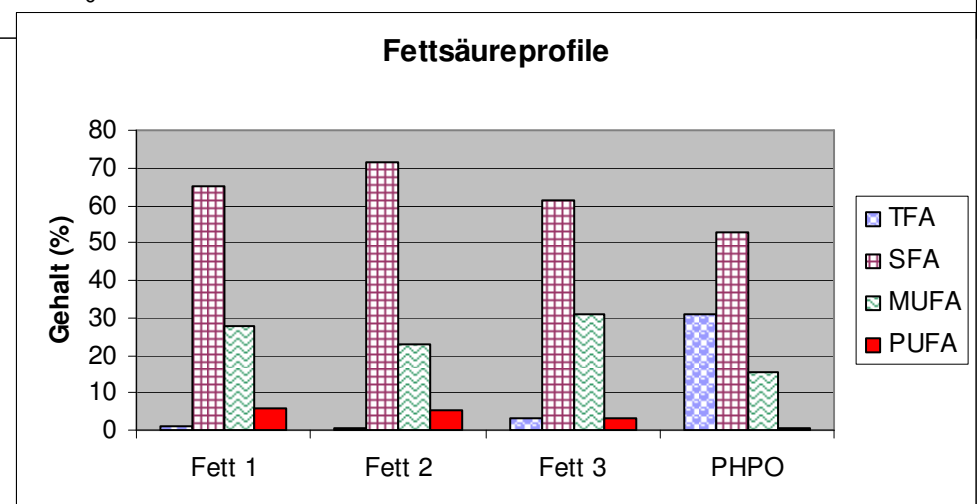
4. Herausforderungen beim Ersatz

## Erfassung der funktionellen Eigenschaften eines Fettes



### Kristallisationsverhalten:

- Häufig entscheidend für die industrielle Anwendung
- Sehr schwierig zu messen
- Keine Labormethoden verfügbar



Die Verwendung von TFA-armen Fetten kann die Produkt- und Herstelleigenschaften eines Lebensmittels stark verändern.

4. Herausforderungen beim Ersatz

## Herausforderungen beim Ersatz von TFA-haltigen Fetten

- **Kristallisationsverhalten** der TFA-armen Fette
  - Verzögerte Kristallisation → reduzierte Leistung der Produktionsanlagen
  - Zu schnelle Kristallisation → Inhomogenität im Produkt
- **Oxidative Stabilität** der TFA-armen Fette
  - Oxidativ weniger stabil → Langwierige und teure Lagertests
- **Sensorischen** Eigenschaften
  - Hochschmelzend → wachsig beim Essen
  - Veränderte Freisetzung der Aromastoffe
  - Verändertes Geschmacksprofil
  - Veränderte Produkttextur
- **1 zu 1 Ersatz** meist nicht möglich
- **Preis**
  - Oft höher im Preis

## Oxidationstabilität

- Tocopherolprofil:

- HO-Sonnenblumenöl:

- 95 %  $\alpha$ -Tocopherol

grösste Vitaminaktivität

- HO-Rapsöl:

- 40 %  $\alpha$ -Tocopherol

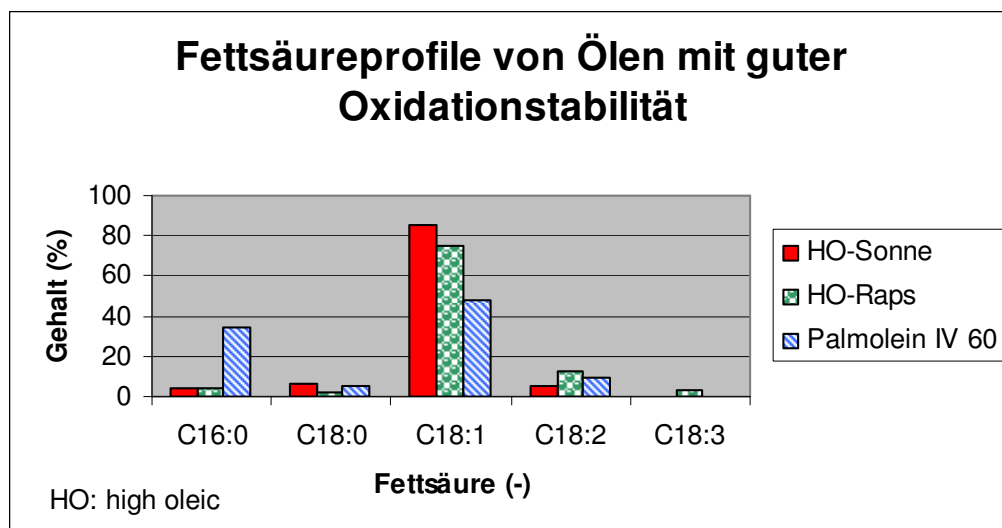
- 60 %  $\gamma$ -Tocopherol

gute antioxidative Wirkung

- Fettsäureprofil:

- Linolsäuregehalt, ca. 10 %

- Linolensäuregehalt, < 2 %



HO-Raps ist derzeit noch etwas zu hoch im  $\alpha$ -Linolensäuregehalt (~3 %) für eine optimale Oxidationsstabilität

- **Der Gehalt an *trans*-Isomeren hängt vom Fetttyp und dem Verarbeitungsprozess ab:**
  - Die Teilhärtung ist die Hauptquelle für *trans*-Isomere, wird aber immer weniger angewendet.
  - Bei der Dämpfung werden in geringen Mengen *trans*-Isomere von mehrfach ungesättigten Fettsäuren gebildet.
  - Wiederkäuerfette enthalten natürlich *trans*-Isomere.
  - Fraktionierung und Umesterung bilden keine *trans*-Isomere.
- **Umgeesterte und fraktionierte Fette und High Oleic Öle werden sehr häufig verwendet um TFA-reiche Fette zu ersetzen.**
- **Ein 1 zu 1 Ersatz ist oft nicht möglich. Das Rezept und/oder das Herstellverfahren des Lebensmittels müssen angepasst werden.**

# Literatur

- C. Bertoli *et al.* Formation of *trans* Fatty Acids during Deodorization of Low Erucic Acid Rapeseed Oil. in: S. S. Koseoglu, K. C. Rhee, R.F. Wilson, (eds.), Proceedings of the World Conference on Oilseed and Edible Oil Processing, vol. 2, AOCS Press, Champaign, 1998.
- J.M. Chardigny *et al.* Rationale and design of the TRANSFACT project phase I: A study to assess the effect of the two different dietary sources of *trans* fatty acids on cardiovascular risk factors in humans. Contemporary Clinical Trials 27, 364-373 (2006).
- R.H. Eckel *et al.* Understanding the Complexity of Trans Fatty Acid Reduction in the American Diet. American Heart Association Trans Fat Conference 2006. Report of the Trans Fat Conference Planning Group. Circulation J. American Heart Association, April 11, 2007.
- D.R. Kodali & G.R. List (eds.) *Trans Fats Alternatives*. AOCS Press, Champaign IL, 2005.
- R.P. Mensink & M.B. Katan. Effect of dietary trans fatty acids on high-density and low-density lipoprotein cholesterol levels in healthy subjects. New England J. Medicine 323, 439-445 (1990).
- Y. Park & M.W. Pariza. Mechanisms of body fat modulation by conjugated linoleic acid (Review article). Food Research International 40, 311-323 (2007).
- D. Precht & J. Molkentin. *Trans* fatty acids: Implications for health, analytical methods, incidence in edible fats and intake. Nahrung 39, 343-374 (1995).
- P. Wassell & N.W.G. Young. Food Applications of *trans* fatty acid substitutes. International J. Food Science and Technology 42, 503-517 (2007).