

Fette und andere Lipide als funktionelle Lebensmittel – eine Übersicht

Nikolaus Weber, Kumar D. Mukherjee und Siegfried Warwel

*Institut für Lipidforschung
Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung, Münster*

Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Mehrfach ungesättigte Fettsäuren
 - 2.1 ω 3-Fettsäuren und ω 6-Fettsäuren
 - 2.2 Konjugierte Linolsäuren (CLA)
- 3 Fett- und kalorienreduzierte Lebensmittel
- 4 Mittelkettige und kurzkettige Triglyceride
- 5 Strukturierte Triglyceride
- 6 Diglyceride
- 7 Phospholipide
- 8 Antioxidanzien und fettlösliche Vitamine
- 9 Phytosterine und Phytosterylester
- 10 Tierische Lebensmittel mit verändertem Fettsäuremuster
- 11 Pflanzliche Produkte mit verändertem Fettsäuremuster
- 12 Cholesterinreduzierte Lebensmittel
- 13 Fettersatzstoffe

1 Einleitung

Eine abwechslungsreiche, vielseitige Ernährung mit nicht oder möglichst schonend behandelten Lebensmitteln empfehlen Ernährungswissenschaftler seit jeher zur Erhaltung der Gesundheit. Der heutige Trend zu angereicherten Lebensmitteln, die unter Bezeichnungen wie Functional Foods, Health Foods, Nutraceuticals u.a. im Handel erhältlich sind, entspricht dieser Empfehlung in keiner Weise. Vor allem aus Gründen des Verbraucherschutzes sollte dies Anlass dazu geben, strenge Maßstäbe bei der wissenschaftlichen Beurteilung des Nutzens dieser veränderten, neuen oder neuartigen Lebensmittel anzulegen und die vorhandenen rechtlichen Bestimmungen entsprechend anzuwenden (vgl. Beiträge von de Vreese und Schrezenmeir sowie Beitrag von Trenkle). Als Einleitung gibt der nachfolgende Beitrag eine Übersicht über Fette und andere Lipide, die selbst als funktionelle Lebensmittel oder als Bestandteile solcher Produkte in Frage kommen.

Bezüglich Fetten und anderen Lipiden bleibt generell festzustellen, dass die breite Bevölkerung in Deutschland nicht an Nährstoffmangel leidet. Vielfalt und hohe Qualität der angebotenen Lebensmittel ermöglichen heute uneingeschränkt eine gesunde Ernährung des Durchschnittsverbrauchers. Allerdings ist wegen der einseitigen Ernährungsweise, die bei bestimmten Bevölkerungsgruppen – vor allem Jugendlichen sowie alten und kranken Menschen – beobachtet wird, die Gefahr einer nicht ausreichenden Versorgung mit einzelnen Nährstoffen höher als beim Durchschnitt der Bevölkerung. Oft besteht bei diesen Gruppen ein Missverhältnis zwischen den empfohlenen und aufgenommenen Mengen einzelner Nährstoffe wie etwa ω 3-Fettsäuren, Vitamin E (α -Tocopherol) oder β -Carotin. In den genannten Fällen kann die Anreicherung von Nährstoffen in Lebensmitteln helfen, den Bedarf solcher Risikogruppen auf einfache Weise besser zu decken.

Die Anreicherung von Lebensmitteln mit bestimmten Nährstoffen kann möglicherweise auch dem vorbeugenden Gesundheitsschutz dienen und auf diese Weise einen Beitrag dazu leisten, gesundheitliche Risiken der Gesamtbevölkerung zu minimieren. Im Mittelpunkt steht hier vor allem die Verminderung des Risikos von chronischen Erkrankungen durch gezielte Nährstoffzufuhr, insbesondere von Arteriosklerose und damit verbundenen Herz-Kreislaufkrankungen sowie von Krebskrankheiten (Erbersdobler und Meyer 2000; Gibson und Williams 2000). Beeinträchtigungen der Gesundheit der Verbraucher durch angereicherte Lebensmittel ist dabei auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse mit Sicherheit auszuschließen (Lebensmittelchemische Gesellschaft 2001).

Neben einer ausgewogenen Ernährung und einer gesunden Lebensweise könnte eine sinnvoll eingesetzte und wissenschaftlich abgesicherte Anreicherung von Nährstoffen in Lebensmitteln so die Chance bieten, nicht nur die Gesundheit bestimmter Verbrauchergruppen, sondern auch die der Gesamtbevölkerung zu verbessern. Die Diskussion über die

Vor- und Nachteile eines solchen Ansatzes sollte unter wissenschaftlicher Begleitung öffentlich geführt werden.

Während der letzten Jahre wuchs das Angebot an funktionellen Lebensmitteln stetig und Fette und andere Lipide haben einen großen Anteil an dieser Entwicklung – nicht zuletzt, weil einigen von ihnen günstige ernährungsphysiologische und medizinische Wirkungen bescheinigt werden. Verschiedene Fette, Fettsäuren und andere Lipide werden in dieser Übersicht vorgestellt, die entweder schon als Bestandteile kommerzieller Produkte verwendet oder die als Komponenten zukünftiger Health Foods diskutiert werden. Darin eingeschlossen sind auch eine Reihe lipophiler sekundärer Pflanzenstoffe, die in den zurückliegenden Jahren oft aus den Lebensmittel-Rohstoffen entfernt wurden und heute in immer neuen Varianten von funktionellen Lebensmitteln angeboten werden (Drewnowski und Gomez-Carneros 2000).

2 Mehrfach ungesättigte Fettsäuren

Mehrfach ungesättigte Fettsäuren (*Polyunsaturated Fatty Acids*, PUFA) der ω 3- und ω 6-Reihen sind essenzielle Fettsäuren, die der Mensch zur Erhaltung der Gesundheit mit der Nahrung aufnehmen muss (Simopoulos et al. 1999; vgl. Beitrag von Mukherjee et al.). α -Linolensäure (ω 3) und Linolsäure (ω 6) zum Beispiel können im menschlichen Organismus nicht synthetisiert werden. Durch Einführung weiterer Doppelbindungen und Kettenverlängerung werden aus ihnen die langkettigen Mitglieder der jeweiligen Fettsäure-Familien gebildet, z.B. Eicosapentaensäure (EPA) und Docosahexaensäure (DHA) bzw. Arachidonsäure (AA) (Abbildung 1). Ungenügende Zufuhr dieser Fettsäuren führt zu Stoffwechselstörungen, die sich in Symptomen wie Hautveränderungen, Störungen von Wachstum, Fertilität, Lernfähigkeit und Sehfunktion sowie erhöhter Anfälligkeit gegenüber bakteriellen Infektionen bemerkbar machen (Kinsella 1990). Ein ausgewogenes Verhältnis von ω 3- und ω 6-Fettsäuren in Lebensmitteln ist daher für eine gesunde Ernährung von grundsätzlicher Bedeutung (Hu et al. 2001; Okuyama et al. 1997).

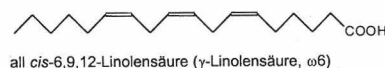
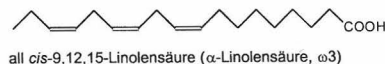
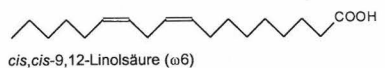
2.1 ω 3-Fettsäuren und ω 6-Fettsäuren

PUFA der ω 3-Reihe, z.B. α -Linolensäure, sowie der ω 6-Reihe, z.B. Linolsäure und γ -Linolensäure, kommen in den Triglyceriden von Pflanzenölen vor, beispielsweise in Raps-, Soja- und Borretschöl (Abbildung 1).

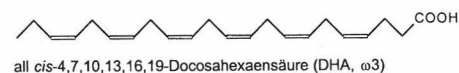
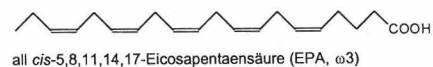
ω 3 LC-PUFA (ω 3 *Long-chain Polyunsaturated Fatty Acids*) – beispielsweise Eicosapentaensäure und Docosahexaensäure – werden insbesondere beim Verzehr von fettreichen Meeresfischen wie Lachs, Hering und Makrele aufgenommen (Abbildung 1). Arachidonsäure – eine langkettige mehrfach ungesättigte ω 6-Fettsäure – wird fast ausschließlich mit tierischen Lebensmitteln verzehrt. ω 3 und ω 6 LC-PUFA kommen in Speiseölen nicht vor. Sowohl Docosahexaensäure als auch Arachidonsäure werden aber

auch aus verschiedenen Mikroorganismen, etwa aus Mikroalgen und Hefepilzen, als "Single Cell Oils" (SCO) gewonnen, die in Zukunft vermehrt für die Zubereitung funktioneller Lebensmittel Verwendung finden könnten (Mukherjee 1999).

PUFA



LC-PUFA



CLA

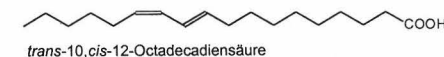
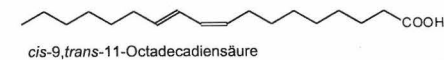


Abbildung 1 Chemische Struktur von mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFA), langkettigen mehrfach ungesättigten Fettsäuren (LC-PUFA) sowie von zwei isomeren konjugierten Linolsäuren (CLA)

$\omega 3$ PUFA, insbesondere $\omega 3$ LC-PUFA, bieten einen besseren Schutz gegen Arteriosklerose als $\omega 6$ PUFA (Lands 2001). Durch ernährungstherapeutische Maßnahmen wie etwa durch Verzehr von fettreichem Seefisch kann diese Wirkung erreicht werden. Zudem werden vor allem in den USA und Japan (Yazawa 2001), aber auch in Deutschland (z.B. "omega-3-Brot") bereits seit Jahren Lebensmittel als Functional Food angeboten, die beispielsweise mit Leinöl, Lachsöl oder Fettsäure-Fractionen aus Fischölen angereichert sind (vgl. Beitrag

von Mukherjee et al.). Biochemische Effekte durch solche mit $\omega 3$ -Fettsäuren angereicherten Produkte wurden an Probanden nachgewiesen (Mantzioris et al. 2000).

Andere Effekte, die mit dem Verzehr von $\omega 3$ LC-PUFA-reichen Fischölen in Verbindung gebracht werden, sind unter anderem eine Erniedrigung des postprandialen Triglyceridspiegels des Blutes, die Verringerung von Arrhythmien des Herzens, die Abnahme entzündlicher Reaktionen sowie die Erniedrigung der Blutgerinnung und der Viskosität des Blutes. Eine ernährungsphysiologisch besonders günstige Zusammensetzung der Fettsäuren zeigt das heimische Rapsöl mit seinen vergleichsweise hohen α -Linolensäure- und Ölsäure-Anteilen und einem moderaten Gehalt an Linolsäure. Als funktioneller Zusatz zu Lebensmitteln könnte Rapsöl bei der Entwicklung einer ganzen Reihe von Produkten mit einem gesundheitlichen Zusatznutzen Verwendung finden.

Das Interesse an mehrfach ungesättigten Fettsäuren war lange Zeit vor allem darin begründet, dass diese Fettsäuren eine Senkung des Plasmacholesterinspiegels bewirken und damit einen Beitrag dazu leisten können, das Risiko von koronaren Herzerkrankungen (KHE) zu senken. Dieses Interesse richtete sich zunächst auf $\omega 6$ PUFA, insbesondere Linolsäure, die in vielen Pflanzenölen und daraus hergestellten Erzeugnissen in hoher Konzentration vorkommt.

Linolsäure-reiche Pflanzenmargarine (z.B. Margarine aus Sonnenblumenöl), deren Verzehr eine Senkung des Cholesterinspiegels bewirkt, stellt ein funktionelles Lebensmittel der ersten Stunde dar. Möglicherweise besteht auch für γ -Linolensäure ($\omega 6$), die sich durch eine weitere Doppelbindung von Linolsäure unterscheidet, zumindest bei alten Menschen ein gewisser Bedarf, da die Aktivität des Enzyms $\Delta 6$ -Desaturase, das bei der Bildung von Arachidonsäure aus Linolsäure über γ -Linolensäure sowie von Eicosapentaensäure aus α -Linolensäure über Stearidonsäure beteiligt ist, mit steigendem Alter abnimmt (Bolton-Smith et al. 1997). Unter anderem könnte diese altersabhängige Verringerung von Enzymaktivitäten auch eine Ursache für die steigende Häufigkeit von koronaren Herzerkrankungen bei alten Menschen sein.

Fette und Öle haben – abhängig von ihrer Fettsäurezusammensetzung – ein unterschiedliches kanzerogenes Potential. Mehrfach ungesättigte $\omega 3$ - und $\omega 6$ -Fettsäuren unterscheiden sich in ihrem Stoffwechsel und in der biologischen Aktivität der aus ihnen gebildeten Metaboliten, vor allem der Eicosanoide (Feng et al. 1996), aber auch in der mutagenen Wirkung der PUFA-Derivate (Marnett 1994). Deshalb bestehen auch zwischen tierischen und pflanzlichen Fetten Unterschiede bezüglich vermuteter Zusammenhänge bei der Auslösung von Dickdarntumoren. Möglicherweise wirken mehrfach ungesättigte $\omega 3$ -Fettsäuren, vor allem $\omega 3$ LC-PUFA (Sauer et al. 2000) und die einfach ungesättigte Ölsäure (z.B. aus Olivenöl) eher protektiv, während gesättigte Fettsäuren und mehrfach ungesättigte $\omega 6$ -Fettsäuren (z.B. Linolsäure aus Sonnenblumen- oder Distelöl) das Risiko einer

Tumorbildung erhöhen (Rindgen et al. 2000). Diese negativen Effekte von ω 6-Fettsäuren, insbesondere von Linolsäure, sind allerdings umstritten (Zock und Katan 1998).

Die protektive Wirkung von ω 3 LC-PUFA-haltigen Fischölen und bestimmten Pflanzenölen mit ausreichendem α -Linolensäure-Anteil wird durch epidemiologische Untersuchungen gestützt (Rose und Connolly 1999). Diese zeigen, dass die Krebshäufigkeit generell niedriger ist bei Menschen, die häufig fettreichen Fisch verzehren – wie die arktische Inuit-Bevölkerung – oder die sich typisch mediterran ernähren mit hohem Anteil an Oliven, Olivenöl und Gemüse – wie die Einwohner Griechenlands und anderer Mittelmeerländer (Devanaboyina und Gupta 1996).

2.2 Konjugierte Linolsäuren (CLA)

Als konjugierte Linolsäure(n) (CLA) wird eine Gruppe von stellungs- und stereoisomeren Octadecadiensäuren bezeichnet (Abbildung 1), die in der Natur vor allem aus Linolsäure durch enzym-katalysierte Isomerisierung von $>C=C<$ Doppelbindungen entstehen oder synthetisch durch chemisch katalysierte Isomerisierung gewonnen werden. In der Natur werden CLA zum Beispiel durch Pansen-Bakterien von Wiederkäuern gebildet, entweder aus Linolsäure durch Isomerisierung oder aus α -Linolensäure durch partielle Hydrierung von Doppelbindungen unter gleichzeitiger Positions- und Stereoisomerisierung. Daher findet man CLA in Fleisch und Milch von Rindern, Schafen und Ziegen. Synthetische CLA werden durch alkalische Isomerisierung hergestellt. Auch bei der katalytischen Hydrierung von Fetten werden durch Isomerisierung der $>C=C<$ Doppelbindungen von Linol- und α -Linolensäure konjugierte Linolsäuren gebildet.

CLA-Gemische können als solche für die Herstellung von Functional Foods verwendet werden. Derzeit versucht man jedoch den Beitrag einzelner konjugierter Octadecadiensäuren an der physiologischen Wirkung von CLA-Gemischen zu bestimmen. Von Interesse sind vor allem die Effekte der *cis*-9,*trans*-11-Octadecadiensäure, die als Hauptkomponente in den CLA der Wiederkäuer vorkommt (vgl. Beitrag von Jahreis und Kraft), während Milchsäure-Bakterien neben dieser Komponente auch noch *trans*-9,*trans*-11-CLA produzieren (Kishino et al. 2002). Aber auch die biologischen Eigenschaften synthetischer isomerer Octadecadiensäuren wie etwa der *trans*-10, *cis*-12-, *trans*-9,*trans*-11- sowie *trans*-10,*trans*-12-Isomeren werden untersucht. Die Reinigung der einzelnen, chemisch ähnlichen CLA-Komponenten ist jedoch schwierig. Enzymatische Verfahren bieten hier interessante Möglichkeiten, die einzelnen Isomeren durch lipase-katalysierte selektive Veresterungs- und Umesterungsreaktionen zu trennen (vgl. Beitrag von Borgdorf et al.).

Eine Reihe verschiedener biochemischer Mechanismen wird im Körper von Mensch und Tier durch CLA in Gang gesetzt, von denen insbesondere anticarcinogene (Hemmung der Krebsentstehung) und antioxidative Effekte, Immunstimulation sowie die Beeinflussung des Glucose- und Fettstoffwechsels und die damit zusammenhängende Verminderung des

Körperfetts und Steigerung der Muskelmasse hervorzuheben sind (vgl. Beitrag von Jahreis und Kraft). Vor allem die letztgenannten Wirkungen sind für die Ernährung von Mensch und Tier von Interesse, da sie zu einer Reduzierung des Körperfetts bei gleichzeitigem Aufbau von Muskelmasse führen – ein Effekt, der insbesondere zur Bekämpfung von Adipositas (Fettsucht) von Interesse ist.

Trotz einer Vielzahl von wissenschaftlichen Untersuchungen während der letzten Jahre sind Schlussfolgerungen über die biologischen Eigenschaften von CLA noch sehr spekulativ, nicht zuletzt, weil die Ergebnisse vor allem durch Experimente an Tieren und Zellkulturen gewonnen wurden.

3 Fett- und kalorienreduzierte Lebensmittel

Eine an Fetten reiche Ernährung birgt wegen des hohen Energiegehalts der Fette (38-39 kJ/g) die Gefahr einer überkalorischen Ernährung, die zur Entstehung von Übergewicht und Adipositas führt. Adipositas ist ein Risikofaktor für die Entstehung von koronaren Herzkrankungen (KHE), cerebralen Durchblutungsstörungen und möglicherweise auch von Krebskrankheiten wie Brust-, Prostata- und Dickdarmkrebs (van den Brandt et al. 2000; Carroll 1998; Lee und Lin 2000; Rose und Connolly 1992). Unabhängig von einer bestehenden Adipositas scheinen aber auch bestimmte mit der Nahrung aufgenommene Fette bzw. Fettsäure-Reste dieser Fette Risikofaktoren für die Entwicklung typischer Tumorarten darzustellen. Auf der anderen Seite soll eine Beschränkung der Energieaufnahme, möglicherweise auch des Fettverzehr, die Häufigkeit von Krebserkrankungen verringern (Kritchewsky 2001).

Daher wurden Lebensmittel mit reduziertem Fett- und Kaloriengehalt entwickelt (Levine 2001; Sandrou und Arvanitoyannis 2000; Westerterp-Platenga 2001). Sie sind weltweit wahrscheinlich die meist verkaufte Health Foods und sollen insbesondere zur Vorbeugung gegen Adipositas und deren Folgekrankheiten dienen, wie etwa Fettstoffwechselstörungen (Hypercholesterinämie, Hypertriglyceridämie), Bluthochdruck und Zuckerkrankheit (Diabetes mellitus Typ 2), die zusammenfassend als "metabolisches Syndrom" bezeichnet werden. Die Kalorienverminderung fetthaltiger Lebensmittel wird dabei auf unterschiedliche Weise erreicht:

- Aus Milch und Milchprodukten wird Fett abgetrennt; die so erhaltenen Lebensmittel sind als "fettarme" oder "fettreduzierte" Produkte bekannt.
- Butter und Margarine werden als Öl-in-Wasser Emulsionen, d.h. mit erhöhtem Wasseranteil, hergestellt und im Handel zum Beispiel als sog. Halbfett-Produkte angeboten.
- In ähnlicher Weise werden Majonäsen und Salatcremes mit unterschiedlichen Fettanteilen hergestellt.

- Der Fettgehalt von Eiscremes kann durch Verwendung von Fettersatzstoffen und Einsatz neuer technologischer Verfahren erniedrigt werden.
- Fette und Öle mit mittelkettigen gesättigten Fettsäuren (Kettenlänge 6-10 Kohlenstoffatome) – sog. MKT- oder MCT-Öle (MKT, mittelkettige Triglyceride bzw. MCT, medium-chain triglycerides) – haben einen geringeren Energieinhalt als langkettige Triglyceride in den üblichen Speisefetten und -ölen. Sie können daher zur Kalorienverminderung in fetthaltigen Lebensmitteln verwendet werden (siehe Abschnitt 4).
- Auch das Muskelfleisch von Rindern und Schweinen lässt sich durch Tierernährung und Züchtung so verändern, dass es nur noch einen geringen Fettanteil enthält (Demeyer und Doreau 1999; Flachowski 1998; Jacobsen 1999). Solche Produkte könnten einen wesentlichen Beitrag zur verminderten Kalorien- und Fettaufnahme leisten, da etwa ein Drittel der Kalorienaufnahme in Deutschland über Fleisch und Fleischprodukte erfolgt.
- In Lebensmitteln aller Art kann der Fettanteil ganz oder teilweise durch Fettersatzstoffe ausgetauscht werden, um Fettgehalt und Energieinhalt zu senken (Warwel und Weber 1999).

Neben der Möglichkeit qualitativ hochwertige fettreduzierte Lebensmittel durch bestimmte technologische Behandlung oder den Einsatz von Fettersatzstoffen herzustellen, gibt es auch die Option, Fette und andere Lipide durch Extraktion mit überkritischem Kohlendioxid aus der Lebensmittel-Matrix zu entfernen, z.B. aus Fleischprodukten (King et al. 1989) oder Nüssen (Kanamangala et al. 1999). Dagegen ist eine Extraktion mit organischen Lösungsmitteln, die zur Zeit noch bei der Gewinnung von Ölen aus Ölsaaten angewandt wird, zur Herstellung fettreduzierter Lebensmittel nicht angezeigt.

4 Mittelkettige und kurzkettige Triglyceride

Fette und Öle mit mittelkettigen gesättigten Fettsäuren (Kettenlänge 6-10 Kohlenstoffatome) – sog. MKT- oder MCT-Öle (MKT, *mittelkettige Triglyceride* bzw. MCT, *medium-chain triglycerides*) – sind kommerzielle Produkte mit einem geringeren Energieinhalt (29 kJ/g) als die üblichen Tierfette und Pflanzenöle (38-39 kJ/g) (Abbildung 2). Sie leisten daher einen Beitrag zur Verminderung des Brennwertes von Lebensmitteln (vgl. Beitrag von Pfeuffer und Schrezenmeir). MCT mit etwa 40 bis 50% Caprinsäure (C₁₀) und 50 bis 65% Caprylsäure (C₈) werden aus fraktionierten Kokos- oder Palmkern-Fettsäuren durch Veresterung mit Glycerin gewonnen (Wan et al., 1988). Sie werden in Form von flüssigem Speiseöl ("MCT-Öl") oder streichfähiger Margarine angeboten. MCT sollen bei der Nahrungszubereitung nicht über eine Temperatur von 150°C erhitzt werden, da sie leichter als LCT thermisch zersetzt werden.

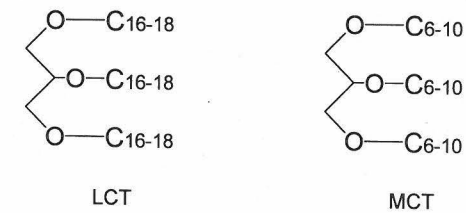


Abbildung 2 Chemische Struktur von langkettigen Triglyceriden, die als Ester von Fettsäuren mit 16 bis 18 Kohlenstoffatomen vorliegen (*long-chain triglycerides*, LCT) im Vergleich zu mittelkettigen Triglyceriden, die mit mittelkettigen Fettsäuren (6 bis 10 Kohlenstoffatome) verestert sind (*medium-chain triglycerides*, MCT)

Mittelkettige Triglyceride haben sich als Nahrungsfette bei Patienten mit Störungen der Fettersorption bewährt (Babayan, 1987, 1988; Träger, 1993). Solche Personen sind nicht in der Lage, gewöhnliche Fette mit langkettigen Fettsäure-Resten wirksam im Dünndarm zu hydrolysieren. Mittelkettige Triglyceride werden im Darm rascher hydrolysiert als langkettige und können die Darmmucosa sogar als intakte Moleküle passieren. Über die Pfortader werden sie direkt zur Leber transportiert (Babayan, 1987, 1988; Hashim und Tantibhedyangkul, 1987; Merolli et al., 1997; Odle, 1997). MCT dienen wie *langkettige Triglyceride* (LKT bzw. LCT, *long-chain triglycerides*) als Träger fettlöslicher Vitamine; essenzielle Fettsäuren müssen bei einer ausschließlichen Ernährung mit MCT allerdings zusätzlich zugeführt werden, um einem Mangel vorzubeugen. MCT werden auch in der parenteralen Ernährung und in Nahrungsmitteln für Frühgeborene verwendet.

Im Vergleich zu LCT gehen MCT vorwiegend direkt in den Energiestoffwechsel ein. Bei Untersuchungen an Probanden (Bach et al., 1988; Deckelbaum et al., 1990) und im Tierversuch mit Ratten (Yeh et al., 1978) wurde eine höhere Stoffwechselrate von MCT im Vergleich zu LCT festgestellt. MCT werden in der Leber rasch zu Glycerin und mittelkettigen Fettsäuren hydrolysiert, die überwiegend zur Energiegewinnung dienen und nicht zur Speicherung in den Fettgeweben. Auf diese Weise erklärt sich die Empfehlung, MCT zur Bekämpfung von Adipositas einzusetzen. Sie werden mitunter als "leichte" oder "fettlose" Fette für Abmagerungskuren angepriesen (Binnert et al., 1998). Neuere wissenschaftliche Studien bezweifeln allerdings die Wirksamkeit von MCT in physiologisch verträglichen Dosierungen bei der Reduzierung des Körpergewichts (Bach et al., 1996; Jeukendrup et al., 1998). Möglicherweise wirken MCT in hoher Dosierung sogar toxisch (Velázquez et al., 1996). So wurden in Tierversuchen mit Hunden (Cotter et al., 1987),

Ratten (Stein et al., 1984, 1986; Henwood et al., 1997) und Kaninchen (Henwood et al., 1997) nach hoher Dosierung von MCT toxische Effekte beobachtet.

Die kalorienreduzierten Fettprodukte SALATRIM® (*engl. Short And Long Acyl TRIGlyceride Molecule*) sind synthetische Triglyceridgemische, die neben zwei kurzkettigen Carbonsäure-Resten wie z.B. Buttersäure (C_4) einen gesättigten langkettigen Fettsäure-Rest, etwa Stearinsäure (C_{18}), enthalten (Auerbach et al., 1997; Smith et al., 1994; Softly et al., 1994; Wheeler, 1995). SALATRIM-Triglyceride (Energieinhalt 21 kJ/g) zeigten in klinischen Tests keine bedenklichen Befunde (Finley et al., 1994a, 1994b); sie erhielten daher 1994 von der US Food and Drug Administration den GRAS (*Generally Recognized as Safe*)-Status und sind seitdem in den USA und einigen anderen Ländern, z.B. Japan, Südkorea und Taiwan, im Handel erhältlich (Auerbach et al., 1997).

In diesem Zusammenhang ist auch die biologische Wirkung kurzkettiger Carbonsäuren, vor allem Buttersäure ($C_{4:0}$), zu erwähnen, die möglicherweise eine vorbeugende Wirkung bei der Entstehung von Coloncarcinomen haben (Young und Gibson 1995). Ferner wirken sie Cholesterin senkend (Anderson 1995) und gehen – ähnlich wie mittelkettige Fettsäuren – unmittelbar in den Energiestoffwechsel ein. Kurzkettige Triglyceride (*short-chain triglycerides*, SCT) werden daher als Bestandteile von Infusionslösungen für die parenterale Ernährung verwendet (DeMichele und Karlstad 1995); eine Verwendung als kalorienreduzierte Fettprodukte ist ebenfalls möglich.

5 Strukturierte Triglyceride

Fette und Öle mit einer definierten Fettsäureverteilung an den verschiedenen Positionen des Glycerin-Rests bezeichnet man als "strukturierte Triglyceride" (Abbildung 3). Ihre individuelle Struktur verleiht diesen Fetten bestimmte (Lebensmittel)technische, biochemische und physiologische Eigenschaften (Gunstone 2001a). Sie werden hergestellt, indem man die Eigenschaften natürlicher Fette mit vorgegebener Fettsäurezusammensetzung und Fettsäureverteilung der Triglyceride, d.h. mit einer bestimmten "Struktur", durch chemische, biochemische, pflanzenzüchterische oder gentechnische Methoden gezielt verändert und ihnen so neue Eigenschaften verleiht. Strukturierte Triglyceride werden in unterschiedlichsten Gebieten eingesetzt, etwa als kalorienreduzierte Fette zur Bekämpfung von Adipositas, als leicht resorbierbare Fette für Patienten mit einer Störung der Fettresorption oder als Nahrungsergänzungen und Diätfette für die gezielte Versorgung mit essenziellen Fettsäuren.

Strukturierte Triglyceride werden auf unterschiedliche Weise gewonnen. In den durch chemische Umesterung hergestellten Triglyceriden liegen die Fettsäure-Reste statistisch verteilt in den drei Stellungen des Glycerins vor. Aus ernährungsphysiologischer Sicht kann eine gezielte Positionierung von Fettsäure-Resten in bestimmten Stellungen jedoch Vorteile

bieten. Neuere Untersuchungen deuten darauf hin, dass neben der Fettsäurezusammensetzung auch die stereochemische Struktur von Triglyceriden die Resorption und den Stoffwechsel von Fettsäuren erheblich beeinflusst (Bracco, 1994; Hunter 2001; Small, 1991).

Eine Strukturierung der Triglyceride, d.h. eine gezielte Positionierung der Fettsäure-Reste in bestimmten Stellungen, kann durch lipase-katalysierte Reaktionen erfolgen. Durch Umesterung unter Verwendung einer positionsspezifischen Lipase ist es etwa möglich

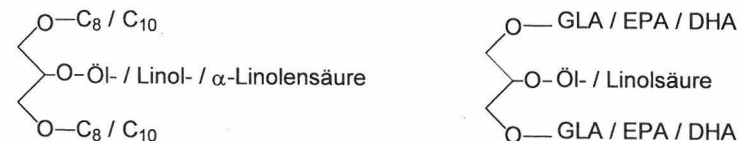


Abbildung 3 Beispiele strukturierter Triglyceride, die als Functional Foods bei Fettresorptionsstörungen und Fettstoffwechselstörungen Verwendung finden können (C_8 , C_{10} = mittelkettige Fettsäuren; DHA, Docosahexaensäure; EPA, Eicosapentaensäure; GLA, γ -Linolensäure)

"Designer-Lipide", wie z.B. Kakaobutter- und Humanmilchfett-Ersatz herzustellen (Mukherjee und Warwel, 1997). Bei der Lipase katalysierten Umesterung eines Triglyceridgemisches mit einer Fettsäure werden fast ausschließlich die Fettsäure-Reste in den *sn*-1,3-Stellungen ausgetauscht – eine Reaktion, die durch chemische Umesterung nicht möglich ist (Macrae, 1983; Mukherjee, 1990, 1992). Lipase-katalysierte Umesterung liefert neben speziellen kalorienreduzierten Fetten auch Diätfette mit mehrfach ungesättigten Fettsäuren wie DHA und GLA, die als Bestandteile von Functional Food verwendet werden könnten (Mukherjee und Warwel 1997). Strukturierte Triglyceride können auch aus gentechnisch veränderten Ölsaaten und Ölfrüchten gewonnen werden (Voelker 1996).

6 Diglyceride

In jüngster Zeit sind Diglyceride (DAG, Diacylglycerine) als Functional Foods bekannt geworden (Watanabe et al. 2001). In der Natur kommen Diglyceride als Minorbestandteile von Fetten und Ölen vor. Sie entstehen auch im Dünndarm aus Triglyceriden durch partielle Hydrolyse, die von Pankreas-Lipase katalysiert wird. In Diglyceriden sind zwei Moleküle Fettsäure mit einem Molekül Glycerin verestert, d.h. sie unterscheiden sich von Triglyceriden durch das Fehlen eines Fettsäure-Rests. Diglyceride kommen in zwei isomeren Formen vor – als 1,2- (bzw. 2,3-) und 1,3-Diglyceride mit unterschiedlicher

Stellung der Fettsäure-Reste am Glycerin (Abbildung 4). 1,3-Diglyceride sind die thermodynamisch stabileren Verbindungen; die weniger stabilen 1,2- bzw. 2,3-Diglyceride lagern sich leicht in 1,3-Diglyceride um – etwa durch die Einwirkung von Wärme und Säuren.

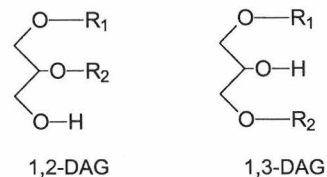


Abbildung 4 Chemische Struktur der isomeren 1,2- und 1,3-Diglyceride (1,2-DAG und 1,3-DAG; R₁, R₂ = Fettsäure-Reste)

Im Gemisch mit 20% Pflanzenöl werden Diglyceride kommerziell als "DAG oil" angeboten. In Japan wurde diesem Produkt bereits 1998 der FOSHU (*FOod for Specified Health Use*)-Status zugebilligt; Ende 2000 erhielten Diglyceride in den USA den GRAS-Status. Diglyceride, die als Lebensmittel Verwendung finden sollen, werden unter anderem durch Lipase katalysierte Veresterung von Fettsäuren mit Glycerin hergestellt (Nagao et al. 2000). In Deutschland sind sie im Gemisch mit Monoglyceriden als Emulgatoren (E471) für die Verwendung in Lebensmitteln – z.B. als Zutaten für Speisefette und -öle (Deutsches Lebensmittelbuch 2002) zugelassen.

Klinische Studien haben gezeigt, dass Diglyceride im Vergleich zu üblichen Pflanzenölen den postprandialen Triglycerid-Spiegel des Blutes senken (Watanabe et al. 1997). Die Konzentration der Serum-Triglyceride steigt nach Mahlzeiten regelmäßig an und bleibt über mehrere Stunden auf erhöhtem Niveau. Dieser lange Zustand postprandialer Hypertriglyceridämie erhöht wahrscheinlich das Risiko, an Arteriosklerose zu erkranken. Im Vergleich zu üblichem Pflanzenöl in einer Dosis von 44g/60 kg Körpergewicht x Tag lag der postprandiale Triglycerid-Spiegel nach Aufnahme der gleichen Menge "DAG oil" etwa 20% niedriger.

Ferner wird die Speicherung von Körperfett durch die Aufnahme von Diglyceriden beeinflusst, möglicherweise indem die während des Verdauungsvorgangs abgespaltenen Fettsäuren bevorzugt im Energiestoffwechsel der Leber oxidiert und nicht mit Glycerin verestert als Triglyceride in Fettgewebe eingebaut werden. Auf diese Weise könnten Diglyceride als Bestandteile von Diäten zur Gewichtsreduktion bei Adipositas Verwendung finden.

In einer Doppelblindstudie über drei Monate wurde der Einfluss von Diglyceriden, die in Brot oder Majonäse verarbeitet waren, auf die Fettspeicherung von Probanden untersucht (Nagao et al. 2000). Die Ergebnisse zeigten, dass die Anteile sowohl des Unterhautfettgewebes als auch des visceralen Fettgewebes des Bauchraums nach der Diglycerid-Diät zurückgegangen waren. In einem Fütterungsexperiment mit Ratten wurde ferner nachgewiesen, dass in der Diglycerid-Futtergruppe die Aktivität der in die β -Oxidation von Fettsäuren eingebundenen Enzyme anstieg, während die der Fettsäure-Synthase abnahm (Murata et al. 1997).

In diesem Zusammenhang ist von Interesse, dass auch gesättigte *Monoglyceride* in kalorienreduzierten Lebensmitteln Verwendung finden. Unter geeigneten Bedingungen bilden diese Verbindungen mit Wasser ein Gel, das bis zu 95% Wasser enthält; ein solches Produkt wird in den USA als Brotaufstrich angeboten (Heertje et al. 1998).

7 Phospholipide

Phospholipide werden hauptsächlich als Nebenprodukte der Raffination von Pflanzenölen gewonnen, überwiegend aus der Verarbeitung von Sojabohnen; geringere Mengen fallen auch bei der Verarbeitung von Rapssaat und Sonnenblumenkernen an (Gunstone 2001; Schneider 1997; Szuhaj 1989). Die Gewinnung von tierischen Phospholipiden, die fast ausschließlich aus Eigelb gewonnen werden, ist mengenmäßig von geringerer Bedeutung.

Hauptbestandteile der aus pflanzlichen und tierischen Ausgangsstoffen hergestellten Phospholipide sind Phosphatidylcholine (1,2-Diacyl-*sn*-glycerophosphocholine), die auch unter ihrem Trivialnamen 'Lecithine' bekannt sind, z.B. Soja-, Raps- oder Ei-Lecithine. Auch kommerzielle Produkte, die als rohe Gemische von Phospho- und Glykolipiden mit bis zu 40% Triglyceriden beim Entschleimungsprozess von Pflanzenölen gewonnen werden, bezeichnet man als "Lecithin". Solche Rohprodukte dienen als Ausgangsstoffe für die Gewinnung des Lebensmittelzusatzstoffes Lecithin (E322), der in geringer Konzentration (meist <1%) als Emulgator und Feuchthaltemittel (z.B. in Teigzubereitungen für Backwaren) eingesetzt wird (Schneider 2001). Ferner besitzen Lecithine wegen ihrer Fähigkeit, Schwermetall-Ionen zu komplexieren, auch antioxidative Eigenschaften. – Cholin, das in den Phosphatidylcholinen als Phosphoester gebunden ist, ist ein essenzieller Nahrungsbestandteil; ihm kommt damit Vitamincharakter zu. Je nach Gehalt des Lebensmittels erlaubt die FDA in den USA die Hinweise "good source of choline" oder "excellent source of choline" auf der Verpackung (ILPS Newsletter 2001).

Um physiologische Wirkungen zu erzielen, müssen vergleichsweise hohe Konzentrationen von "Lecithin" oder seinen Komponenten – wie etwa Phosphatidylcholinen, -ethanolaminen und -serinen – zur Herstellung von Functional Foods verwendet werden (Schneider 2001). Im Einzelnen sind verschiedene funktionelle Wirkungen bekannt, vor

allem hypocholesterinämische und hypotriglyceridämische Effekte für Soja-Lecithine, eine günstige Beeinflussung von Leberschäden durch Phosphatidylcholine sowie eine Verbesserung der geistigen Fähigkeiten durch Phosphatidylserine (Zeisel und Szuhaj 1998; vgl. Beitrag von Schneider).

Strukturierte Phospholipide gewinnt man durch Veresterung von 1-Acyl-lysoglycerophospholipiden mit essentiellen Fettsäuren, z.B. Docosahexaensäure (DHA), unter Verwendung von Phospholipase A₂ oder durch Umesterung von Diacylglycerophospholipiden mit DHA oder anderen mehrfach ungesättigten Fettsäuren in Anwesenheit einer *sn*-1,3-spezifischen Triacylglycerin-Lipase (Na et al. 1990; Totani und Hara 1991). Solche strukturierten Glycerophospholipide dienen zur Herstellung von funktionellen Lebensmitteln, die etwa in der Prophylaxe von Arteriosklerose und ihren Folgekrankheiten sowie Krebskrankungen Verwendung finden könnten.

8 Antioxidanzien und fettlösliche Vitamine

Zu den natürlichen Begleitstoffen von Fetten gehören die fettlöslichen Vitamine A, D, E und K sowie Provitamin A (β -Carotin) (Abbildung 5; vgl. Beitrag von Bub). Die Versorgung der Bevölkerung mit diesen Vitaminen gilt derzeit als gesichert. Vor allem Vitamin E (α -Tocopherol) und verwandte Verbindungen (Tocopherole, Tocotrienole), aber auch β -Carotin, Ubichinone und eine Reihe phenolischer Verbindungen, die in Ölsaaten enthalten sind, werden im menschlichen Organismus antioxidative Eigenschaften zugeschrieben, die zu einer Verringerung von Fettsäure-Hydroperoxiden in den Lipoproteinen, vor allem in den LDL, des Blutes führen. Solche oxidativen Prozesse, die als Radikal-Kettenreaktionen ablaufen, werden mit der Entstehung von Arteriosklerose und Krebs in Verbindung gebracht (Hauner und Watzl 2001; Parthasarathy et al. 1999; Rechkemmer 1999; Schwenke 1998). Durch eine vermehrte Aufnahme von Antioxidanzien könnte es möglich sein, diese oxidativen Prozesse weitgehend zu unterdrücken und die Folgekrankheiten vorbeugend zu behandeln (Gibaldi 1996; Klipstein-Grobusch et al. 1999). Nach jüngsten Empfehlungen der DGE sollte die tägliche Zufuhr von Vitamin E zum Beispiel nicht unter 12 mg liegen und bei einer Ernährung, die reich an mehrfach ungesättigten Fettsäuren ist, deutlich darüber liegen (Valk und Hornstra 2000; Walter 1997; Weber et al. 1997; Wolfram 1994).

Die Wirksamkeit von α -Tocopherol, β -Carotin und anderen Fettbegleitstoffen bei der vorbeugenden Behandlung von Krebskrankheiten, Arteriosklerose und weiteren chronischen Krankheiten ist allerdings wissenschaftlich nicht endgültig geklärt (Biesalski et al. 1997; Stone und Papas 1997; Traber 2001). Die American Heart Association empfiehlt jedoch eine Reihe von Pflanzenstoffen wie etwa Phytosterine, Flavonoide und pflanzliche

Schwefelverbindungen (z.B. Glucosinolate in *Brassica*-Arten) zur Prophylaxe bei Herz-Kreislaufkrankungen (Howard und Kritchevsky 1997).

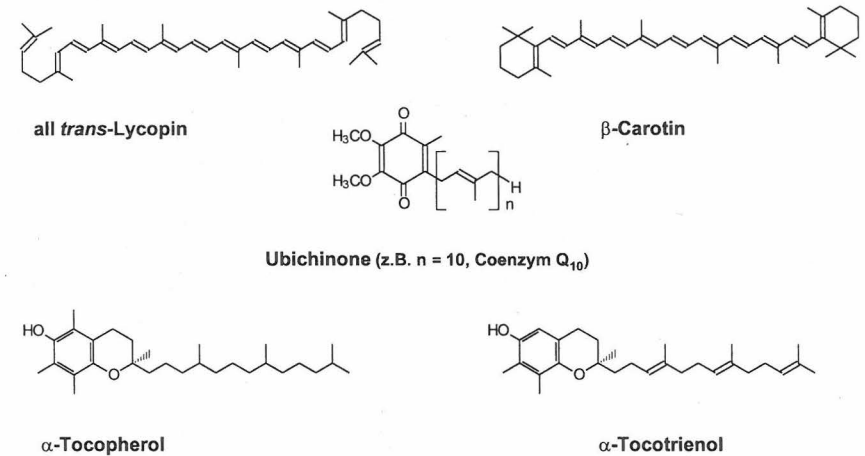


Abbildung 5 Chemische Struktur einiger antioxidativer Minorbestandteile von Pflanzenölen, denen eine gesundheitserhaltende Wirkung zugeschrieben wird

In der Zelle werden Doppelbindungen mehrfach ungesättigter Fettsäuren von reaktiven Sauerstoffverbindungen wie etwa Wasserstoffperoxid oder dem Hyperoxid-Radikalanion ($O_2^{\cdot -}$) angegriffen. Falls nicht genügend Antioxidanzien vorhanden sind, entstehen auf diese Weise aus Oxidationsprodukten ungesättigter Fettsäuren, insbesondere Fettsäure-Hydroperoxide und deren Folgeprodukte (Esterbauer 1993). Ungesättigte Fettsäuren werden allerdings nicht nur in den Lipoproteinen des Blutes oxidiert. Hydroperoxide und deren Folgeprodukte entstehen zum Beispiel auch im mitochondrialen Stoffwechsel der Zellen oder durch oxidative und autoxidative Prozesse in nicht sachgerecht gelagerten Lebensmitteln. Oxidationsprodukte von Nahrungsfetten können im Intestinaltrakt resorbiert werden; sie wurden in den Chylomikronen der Lymphe und des Blutes nachgewiesen (Naruszewicz et al. 1987; Staprāns et al. 1996).

Oxidierter LDL entstehen, wenn die in den Triglyceriden oder Sterylestern der LDL veresterten ungesättigten Fettsäuren chemisch oder biochemisch oxidiert werden. Die gebildeten Fettsäure-Hydroperoxide oxidieren weitere Verbindungen in den Zellen, etwa Cholesterin und Phospholipide. Auch solche Reaktionen tragen zum sog. oxidativen Stress in Zellen und Geweben bei (Aruoma 1998; Griendling und Alexander 1997). Auf

diese Weise können unter anderem Zellen von Blutgefäßen geschädigt werden, was zur Entstehung von arteriosklerotischen Veränderungen ("Plaques") in den Blutgefäßen führt (Aviram 1993; Steinberg et al. 1989). Andererseits zeigen epidemiologische Untersuchungen ein geringeres Risiko für Herz-Kreislaufkrankungen bei Personen, die vergleichsweise hohe Mengen Vitamin E (Abbildung 5) mit der Nahrung aufnehmen. Diese Korrelation könnte in den antioxidativen Eigenschaften von Vitamin E begründet sein (Kushi et al. 1996), das daher – zusammen mit anderen synergistisch wirkenden Antioxidanzien – als Schutzfaktor bei der Prophylaxe von Herz-Kreislaufkrankungen angesehen wird (Lengfelder 1998).

Außerdem führen Reaktionen von Fettsäure-hydroperoxiden und anderen reaktiven Sauerstoffverbindungen zu chemischen Veränderungen der Desoxyribonucleinsäure (DNA), was zu Mutationen im Genom und letztlich zur Entstehung von Krebs führen kann. Auch in diesem Fall könnten Antioxidanzien eine wichtige Schutzfunktion ausüben (Stone und Papas 1997).

Neben Vitamin E (α -Tocopherol) kommen in Pflanzenölen noch weitere Tocopherole sowie die in ihrer chemischen Struktur ähnlichen Tocotrienole vor, die ebenfalls antioxidativ wirksam sind (Abbildung 5). Darüber hinaus werden den Tocotrienolen hypocholesterinämische, antithrombotische und anticarcinogene Eigenschaften zugeschrieben, so dass diese Verbindungen in der Prävention von Herz-Kreislaufkrankungen und Krebskrankheiten eingesetzt werden könnten (Carroll et al. 1995; Theriault et al. 1999).

Weiterhin ist bekannt, dass auch Carotinoide, die als Begleitstoffe in allen Pflanzenölen vorhanden sind, antioxidativ wirken. Neben dem weit verbreiteten β -Carotin (Naves und Moreno 1998; Pryor et al. 2000) wird auch Lycopin aus Tomaten eine antioxidative Wirkung und eine mögliche Schutzfunktion bei Herz-Kreislaufkrankungen und Prostatakrebs zugeschrieben (Arab und Steck 2000; Bramley 2000; Gann et al. 1999). Carotinoide, vor allem β -Carotin (Abbildung 5), kommen in unterschiedlicher Konzentration vor allem in kalt gepressten Pflanzenölen vor. Während der Raffination der Öle gehen allerdings bedeutende Anteile durch thermische Zersetzung verloren (Kochhar 1996; Shahidi und Shukla 1996). Durch Zusatz von carotinoid-reichem "rotem Palmöl" (*red palm oil*) zu raffinierten Ölen kann dieser Verlust wieder ausgeglichen werden (De 1937; Deutsches Lebensmittelbuch 2002). Da jedoch die Anteile der Fettbegleitstoffe bei der Fettraffination insgesamt gesenkt werden, empfiehlt sich eine Ernährung mit nativen oder schonend raffinierten Speiseölen, die deutlich höhere Anteile an Tocopherolen und anderen Minorbestandteilen enthalten (vgl. Tabelle 1). Ob ein Zusatz von β -Carotin oder anderen Carotinoiden zu Lebensmitteln als präventive Maßnahme zur Bekämpfung von HKE und Krebskrankheiten sinnvoll ist, bleibt umstritten (Christen et al. 1999).

Ubichinone (Coenzyme Q) enthalten ein tetrasubstituiertes Benzochinon- (oxidierte Form) bzw. Benzohydrochinon-Molekül (reduzierte Form) als Grundgerüst, wobei ein lipophiler Polyprenyl-Rest einen der Substituenten darstellt (Abbildung 5). Nach der Anzahl n der Prenyl-Einheiten unterscheidet man die verschiedenen Ubichinone, die sowohl in pflanzlichen als auch tierischen Nahrungsmitteln vorkommen. Ubichinone zeigen – wie die strukturell ähnliche Vitamin K-Gruppe – antioxidative und gerinnungshemmende Eigenschaften und können daher zur vorbeugenden Behandlung von Arteriosklerose und HKE eingesetzt werden (Ronden et al. 1996; Witting et al. 2000).

Flavonoide, z.B. Flavonole, Flavone und Isoflavone, sind ebenfalls als antioxidativ wirkende sekundäre Pflanzenstoffe bekannt (Abbildung 6). Ihre protektive Wirkung bei der Entstehung von KHE und Krebskrankheiten wird derzeit intensiv untersucht und zum Teil kontrovers diskutiert (Middleton et al. 2000; Pignatelli et al. 2000). Flavonoide sind

Tabelle 1

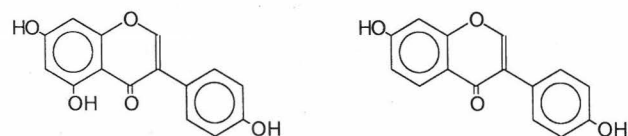
Veränderung des Gehalts an Tocopherolen und Sterinen in Raps-, Soja- und Maiskeimöl während verschiedener Raffinationsschritte¹

Pflanzenöl / Inhaltsstoffe	rohes Öl	Gehalt an Minorbestandteilen (mg/1000g) nach			
		Entschleimung	Entsäuerung	Bleichung	Desodorierung
<i>Rapsöl</i>					
Tocopherole	136	115	129	118	87
Sterine	821	772	798	650	393
Sterylester	759	785	786	755	735
<i>Sojaöl</i>					
Tocopherole	222	292	268	284	195
Sterine	360	322	314	289	295
Sterylester	121	166	132	126	114
<i>Maiskeimöl</i>					
Tocopherole	195	204	202	194	77
Sterine	1114	–	859	818	715
Sterylester	1090	–	1100	1040	911

¹ nach Ferrari et al. 1996; Shahidi und Shukla 1996; Werte zum Teil gerundet

polyphenolische Verbindungen mit einem Chroman-Grundgerüst, die in der Natur vielfach auch glykosidisch gebunden vorliegen. In Sojabohnen kommen die Isoflavone Genistein und Daidzein (Abbildung 6) vor, die neben ihrer antioxidativen noch eine östrogene Wirkung zeigen (Rice-Evans et al. 1996; Wang und Wixon 1999). Wegen ihrer Schwerlöslichkeit kommen Flavonoide in Fetten und Ölen praktisch nicht vor. Daher wird versucht, die Lipophilie dieser Verbindungen durch Veresterung mit Fettsäuren zu erhöhen (Kontogianni et al. 2001; Lewis et al. 2000). In lipophiler Phase kann das antioxidative Potential solcher Verbindungen wahrscheinlich intensiver genutzt und ihre Bioverfügbarkeit verbessert werden. Aus diesem Grund wird Ascorbinsäure (Vitamin C) seit langem durch Veresterung mit Palmitinsäure lipophilisiert und das so hergestellte Ascorbylpalmitat (6-O-Palmitoyl-L-ascorbinsäure) als fettlösliches Antioxidans verwendet. Die lipophilen Fettsäureester der Ascorbinsäure schützen LDL *in vitro* besser gegen Peroxidation als Ascorbinsäure selbst (Liu et al. 1998; Meng et al. 1999).

Verschiedene Ölsaaten und Ölf Früchte enthalten spezielle phenolische Verbindungen mit antioxidativer Wirkung und oft mit weiteren biologischen Eigenschaften. Hierzu gehören zum Beispiel die antioxidativ wirkenden Phenole des Olivenöls, wie etwa Tyrosol, Hydroxytyrosol und Oleuropein (Abbildung 7) (Visioli und Galli 2001). Sesamin und



Genistein

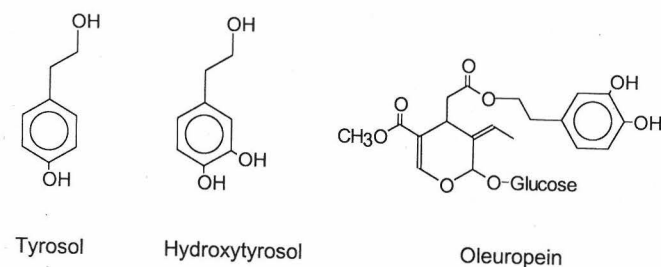
Daidzein

Abbildung 6 Isoflavonoide mit antioxidativer Wirkung aus Sojabohnen

Sesaminol (Abbildung 8) sind antioxidativ wirkende sekundäre Pflanzenstoffe, die in Sesamöl enthalten sind (Kamal-Eldin et al. 1994), während das antioxidativ wirkende Ferulasäure-Sterylester-Gemisch "Oryzanol" (Abbildung 9) ein typischer Bestandteil des Reiskleieöls ist (Rong et al. 1997). Lignan-Derivate, unter anderem Secoisolariciresinol-diglucosid (Abbildung 10), wurden aus Leinsaat isoliert (Rickard und Thompson 1997). Teilweise werden sie erst im Intestinaltrakt durch Darmbakterien in Verbindungen mit antioxidativen Eigenschaften umgewandelt.

Eine ganze Reihe der genannten sekundären Pflanzenstoffe wie z.B. Hydroxytyrosol, Sesamol, Oryzanol und Leinsamen-Lignane verfügen über weitere gesundheitsfördernde Eigenschaften, etwa Cholesterin senkende und andere antiatherogene sowie möglicherweise

Krebs hemmende Effekte (Hirata et al. 1996; Kang et al. 2000). So inhibiert Hydroxytyrosol die Bildung verschiedener Eicosanoide (Visioli und Galli 2001), für Sesamin wurde eine antiinflammatorische Wirkung (Utsunomiya et al. 2000) und für Oryzanol hypocholesterinämische und antithrombotische Effekte nachgewiesen (Lichtenstein et al. 1994; Rong et al. 1997). Secoisolariciresinol-diglucosid findet man wegen seiner Schwerlöslichkeit im Öl ausschließlich im Presskuchen bzw. entöhlten Mehl von Leinsamen (Rickard und Thompson 1997). Ähnlich wie die Isoflavone aus Sojabohnen zeigt das Aglykon dieses Leinsamen-Lignans eine östrogene Wirkung. Zudem werden aber auch antiatherogene und möglicherweise anticarcinogene Effekte für Lignane aus Leinsamen beschrieben (Thompson et al. 1996).

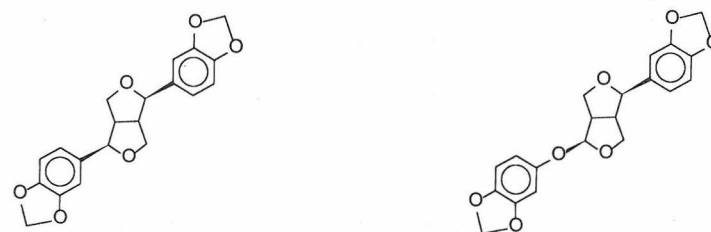


Tyrosol

Hydroxytyrosol

Oleuropein

Abbildung 7 Antioxidativ wirkende phenolische Verbindungen aus Oliven und Olivenöl



Sesamin

Sesamol

Abbildung 8 Lignane aus Sesamöl

Neben der Supplementierung von Lebensmitteln mit natürlichen oder naturidentischen Antioxidanzien wird zur Zeit versucht, solche Verbindungen durch konventionelle

Züchtung oder gentechnische Verfahren in Pflanzen anzureichern, die als Rohstoffe für die Lebensmittelproduktion (z.B. Ölsaaten) Verwendung finden (Bouis 1996; Gunstone und Pollard 2001; Mounts et al. 1996). Es ist allerdings zu beachten, dass die höchste Aktivität einer Verbindung oft nur durch synergistische Effekte mit anderen Antioxidanzien erreicht wird (Kagan et al. 2000; Lambelet et al. 1992).

Insgesamt ist die Anreicherung einzelner Antioxidanzien zur Erzeugung funktioneller Lebensmittel umstritten. Nicht zuletzt hängt das mit prooxidativen Effekten zusammen, die insbesondere bei Überdosierung von Antioxidanzien zu beobachten sind (Palozza 1998; Stanley 1999), aber auch mit möglichen unbekanntem Wirkungen, die bei hoher Dosierung auftreten können (Lebensmittelchemische Gesellschaft 2001).

9 Phytosterine und Phytosterylester

Sterine aus Pflanzen (Phytosterine oder Phytosterole) sind bekannt für ihre Cholesterin senkende Wirkung beim Menschen (Lces et al. 1997; Ling und Jones 1995; Williams 1998). Sie eröffnen eine neue Möglichkeit der Bekämpfung eines erhöhten Cholesterinspiegels, indem sie die Aufnahme von Cholesterin im Dünndarm wirksam vermindern. Sie werden daher neuerdings speziellen Margarinen und anderen fetthaltigen Produkten zugesetzt, die als funktionelle Lebensmittel die Konzentration des Gesamtcholesterins und LDL-Cholesterins im Blutplasma senken sollen (vgl. Beitrag von Weber und Mukherjee).

In ernährungsphysiologischen Studien wurde nach Verzehr von Margarine mit einem Zusatz von Fettsäureestern des Sitostanols (Abbildung 11), das durch Hydrierung von Sitosterin (β -Sitosterin) erhalten wird, eine deutliche Verringerung des Plasmacholesterinspiegels festgestellt (Miettinen et al. 1995). Ein solches Produkt kann daher als Health Food

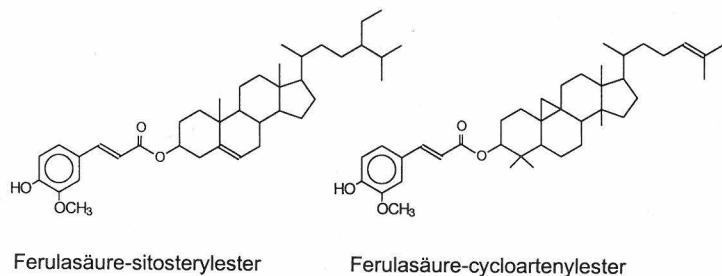


Abbildung 9 Bestandteile des Ferulasäurestereylester-Gemisches "Oryzanol" aus Reis-kleieöl

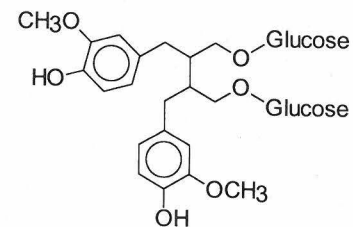


Abbildung 10 Secoisolariciresinol-diglucosid aus Leinsamen

zur Vorbeugung gegen Herz-Kreislaufkrankungen Verwendung finden. Eine mit Sitostanylestern angereicherte Margarine wird in Finnland bereits kommerziell angeboten. Gesättigte Phytostanole scheinen die Cholesterin-Konzentration im Blut in ähnlicher Weise, möglicherweise sogar besser zu senken als Phytosterine (Christiansen et al. 2001; Ling und Jones 1995). Geringe Mengen Phytostanole kommen übrigens auch in der Natur, z.B. in Getreide-Lipiden, sowie in durch Hydrierung gehärteten Pflanzenfetten vor (Dutta und Appelqvist 1996).

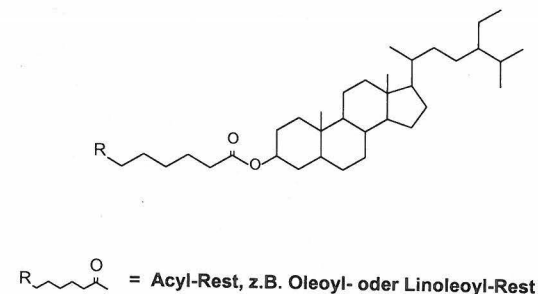


Abbildung 11 Chemische Struktur von Sterylestern, z.B. Fettsäureestern des Sitostanols

Weiterhin wurden Margarinen entwickelt, die mit Fettsäureestern nicht-hydrierter Phytosterine angereichert sind (Ragotzky 2001). Diese Produkte sind mittlerweile EU-weit als funktionelle Lebensmittel zugelassen; in den USA wurde ihnen GRAS-Status gewährt. Die Phytosterine pflanzlicher Öle lassen sich preisgünstig aus dem Dämpfkondensat der Fettraffination gewinnen; anschließende Veresterung mit Fettsäuren liefert die gewünschten Phytosterylester. Auch unveresterte Phytosterine wirken Cholesterin senkend, jedoch werden wegen ihrer besseren Fettlöslichkeit zweckmäßigerweise Fettsäureester der hydrierten oder nicht-hydrierten Phytosterine eingesetzt (Weststrate und Meijer 1998). Als

eine interessante schonende Alternative zur Gewinnung solcher Phytosterylester, die für die Herstellung von Diätmargarinen verwendet werden können, bietet sich die lipase-katalysierte Veresterung der Phytosterine mit Fettsäuren oder Fettsäureestern an (Weber und Mukherjee 2001, 2002; Weber et al. 2001, 2002).

Groß angelegte Untersuchungen mit Probanden ergaben, dass eine statistisch signifikante Senkung der Plasmacholesterin-Konzentration (Gesamtcholesterin sowie LDL-Cholesterin) auch durch Verzehr von Margarinen möglich ist, die mit Fettsäureestern nicht hydrierter Phytosterole angereichert wurden (Weststrate und Meijer 1998).

10 Tierische Lebensmittel mit verändertem Fettsäuremuster

Erwachsene Verbraucher nehmen in Deutschland etwa ein Drittel der Nahrungsenergie aus Lebensmitteln tierischen Ursprungs auf. Der anhaltende Trend hin zu funktionellen Lebensmitteln führt daher auch im Bereich der Tierernährung zu Veränderungen, die auf einen gesteigerten gesundheitlichen Nutzen tierischer Produkte zielen. Mittlerweile ist bekannt, dass die Lipide von Fleisch, Milch und Eiern durch gezielte Fütterung verändert werden können (vgl. Beitrag von Honikel et al. sowie Beitrag von Nürnberg). In einer Vielzahl von Fütterungsversuchen wurde gezeigt, dass sich die Fettsäurezusammensetzung des Futters bei landwirtschaftlichen Nutztieren auf die Zusammensetzung der endogenen Lipide verschiedener Organe und Gewebe auswirkt. Dies wurde insbesondere bei Monogastriern (Schwein, Geflügel), aber auch – in geringerem Umfang – bei Wiederkäuern (Rind und Schaf) gezeigt (Harris 1995).

ω 3-Fettsäuren lassen sich beispielsweise in den Lipiden von Schweine-, Rind- oder Schaffleisch durch gezielte Fütterung mit Rapsöl, Leinöl oder Fischöl, die diese Fettsäuren enthalten, anreichern. Von Vorteil ist dabei vor allem, dass ein Teil der ω 3 PUFA im Stoffwechsel der Tiere in ω 3 LC-PUFA wie etwa EPA und DHA umgewandelt wird. Ein auf diese Weise erhöhter Anteil von ω 3 LC-PUFA in angebotenen Lebensmitteln würde den Verzehr dieser essenziellen Fettsäuren erhöhen und könnte so zu einer Verbesserung des vorbeugenden Gesundheitsschutzes der Bevölkerung beitragen (Sandström et al. 2000; Simopoulos 2000).

Darüber hinaus ist eine Akkumulation von Tocopherolen in den Geweben von Tieren zu beobachten, die mit hohen Dosen dieser Antioxidanzien gefüttert wurden. Antioxidanzien wie etwa Tocopherole, die wegen der leichten Oxidierbarkeit der ω 3 PUFA gleichzeitig mit diesen gefüttert werden, könnten darüber hinaus einen Beitrag zur besseren Versorgung der Bevölkerung mit Vitamin E leisten (vgl. Beitrag von Honikel et al.).

Die Möglichkeit den Verzehr von ω 3 LC-PUFA und Tocopherolen auf diese Weise zu steigern, ist vor dem Hintergrund sinkender Fangquoten für Meeresfische und der daraus

resultierenden geringeren Verfügbarkeit von ω 3 LC-PUFA im Nahrungsangebot von Bedeutung.

Bereits seit einiger Zeit sind in Deutschland sog. omega-3(DHA)-Eier im Handel erhältlich, deren veränderte Fettsäurezusammensetzung mit vergleichsweise hohen Anteilen an α -Linolensäure und ω 3 LC-PUFA durch Fütterung der Hühner mit Leinsamen, Algen oder Fischöl erreicht wird (Baucells et al. 2000; Botsoglou et al. 1998; Halle 2001; Lewis 2000; Nitsan et al. 1999). Verschiedentlich wurden solche Hühnereier, die auch als "Designer Eggs" oder "Safe Eggs" bezeichnet werden, als "Cholesterin neutrale" funktionelle Lebensmittel eingestuft. Diese Darstellung ist allerdings missverständlich, da der Cholesteringehalt dieser Eier nicht reduziert ist. Lediglich der in den Eiern durch die spezielle Fütterung erhöhte Anteil an ω 3-Fettsäuren soll einen günstigen Einfluss auf biochemische Mechanismen haben, die der Arteriosklerose vorbeugen.

In einer placebo-kontrollierten Doppelblindstudie wurde eine erhöhte DHA-Konzentration im Blut von Probanden festgestellt, die über einen Zeitraum von acht Wochen Designer Eggs verzehrt hatten (Surai et al. 2000). Trotzdem wird der Wert von Designer Eggs im vorbeugenden Gesundheitsschutz kritisch beurteilt (Hu et al. 1999). – Weitere Untersuchungen befassen sich mit der Reduzierung von Cholesterin in Hühnereiern durch spezielle Fütterung (Chaturvedi und Chaturvedi 2000; Kovacs et al. 2000). Die medikamentöse Senkung des Cholesteringehalts von Eiern (z.B. durch Statine) ist allerdings für die Lebensmittelproduktion nicht geeignet (Mori et al. 1999).

11 Pflanzliche Produkte mit verändertem Fettsäuremuster

Das Hauptanliegen von Ernährungswissenschaftlern bei der Entwicklung durch Züchtung oder Gentechnik veränderter Pflanzen liegt in ihrer Verwendung als funktionelle Lebensmittel im vorbeugenden Gesundheitsschutz. Zuchtziele, die mit Hilfe gentechnischer Veränderung von Ölpflanzen erreicht werden sollen, liegen zum einen in der veränderten Fettsäurezusammensetzung, zum anderen in erhöhten Anteilen von Minorbestandteilen wie etwa Carotinoiden, Tocopherolen und Tocotrienolen, Phytosterinen oder Phospholipiden (Bouis 1996; Gunstone und Pollard 2001). Von der Entwicklung solcher Ölpflanzen verspricht man sich einen gesundheitlichen Zusatznutzen der Pflanzenöle, vor allem eine Verminderung von Herz-Kreislauf- und Krebserkrankungen.

Eine Reihe transgener Ölpflanzen mit veränderter Fettsäurezusammensetzung ist bereits bekannt (Gunstone und Pollard 2001; Murphy 1996). So wurden etwa Raps-Sorten mit hohen Laurinsäure-Anteilen entwickelt, deren Öl dem Kokos- und Palmkernöl ähnelt. Ölsäure-reiches Rapsöl mit einem Ölsäure-Anteil von über 80% weist eine erhöhte Oxidationsstabilität auf. Auch eine transgene Raps-Sorte, die γ -Linolensäure reiches Öl liefert, wurde beschrieben (Liu et al. 2001). An der Entwicklung transgener Ölpflanzen,

deren Samenöle ω 3 LC-PUFA enthalten, wird zur Zeit gearbeitet. In verschiedenen Ölen aus transgenen Sojabohnen wurde ein erhöhter Anteil an Minorbestandteilen wie z.B. Tocopherolen, Phytosterinen und Phospholipiden beobachtet; solche Pflanzen lassen sich möglicherweise für die Züchtung spezieller Sorten mit hohem Anteil an Antioxidanzien nutzen (Mounts et al. 1996). Transgene Raps-Sorten mit erhöhtem β -Carotin-Gehalt werden derzeit entwickelt. Weitere gentechnische Veränderungen zielen auf eine ernährungsphysiologisch günstigere Aminosäure-Zusammensetzung von Raps- und Soja-Protein. – Es wird weitgehend von der Akzeptanz der Verbraucher abhängen, ob Öle und andere Produkte aus transgenen Ölsaaten als funktionelle Lebensmittel auf den Markt kommen und wie sie sich dort behaupten können.

12 Cholesterin-reduzierte Lebensmittel

Eine erhöhte Konzentration von Cholesterin und vor allem LDL-Cholesterin im Blutplasma lässt das Risiko für die Entstehung von Herz- und Kreislauferkrankungen ansteigen. Daher empfehlen nationale und internationale Organisationen übereinstimmend eine tägliche Cholesterin-Aufnahme von weniger als 300 mg. Der Cholesterinspiegel steigt bei einem Mehrverzehr von 100 mg Cholesterin pro Tag im Schnitt um 3-4 mg/100 mL Blutplasma. Der Cholesterinspiegel einzelner Menschen reagiert zwar sehr unterschiedlich auf die Aufnahme von Cholesterin, es wird aber bei vielen Individuen eine erhöhte Cholesterin-Konzentration im Blut beobachtet, wenn erhebliche zusätzliche Mengen Cholesterin mit der Nahrung aufgenommen werden. Das Risiko an Arteriosklerose und ihren Folgekrankheiten zu erkranken, steigt ohne Zweifel bei einem erhöhten Cholesterinspiegel an, insbesondere einem erhöhten LDL-Cholesterinspiegel.

Der menschliche Körper synthetisiert täglich etwa 700 - 800 mg Cholesterin. Mit jedem Lebensmittel aus tierischen Produkten wird weiteres Cholesterin aufgenommen, was letztlich zu bedenklichen Konzentrationen im Blut führen kann. Insbesondere Personen mit erhöhtem Arteriosklerose-Risiko wird eine Ernährung mit cholesterinarmen oder cholesterinreduzierten Lebensmitteln empfohlen. Daher wird an der Entwicklung lebensmitteltechnischer Verfahren gearbeitet, die eine Entfernung von Cholesterin aus Nahrungsmitteln ermöglichen. Das gilt vor allem für Lebensmittel, die für einen vergleichsweise hohen Cholesteringehalt bekannt sind, wie z.B. Eier und Eiprodukte sowie Milchfett und daraus hergestellte Erzeugnisse. Epidemiologische Studien zeigten zwar keinen Anstieg des Risikos für koronare Herzkrankheiten bei erhöhtem Verzehr von Eiern (Hu et al. 1999), doch ergab eine spätere Metaanalyse, dass das Verhältnis von Gesamtcholesterin zu HDL-Cholesterin im Blut und damit das Risiko von solchen Erkrankungen ansteigt (Weggemans et al. 2001).

Verschiedene Verfahren bieten sich an, um Cholesterin aus Lebensmitteln zu entfernen (Chao 1996; Chao et al. 1993; Haberstroh und Morris 1994; Lanzani et al. 1994; Micich et al. 1992; Oakenfull 1996; Yeh et al. 1991), beispielsweise:

- Extraktion von Cholesterin mit überkritischem Kohlendioxid mit nachfolgender Trennung von den Triglyceriden an Adsorbentien,
- Extraktion von Cholesterin mit Pflanzenöl,
- Abtrennung von Cholesterin nach Komplexbildung mit Saponinen oder Träger gebundenen Saponinen,
- Abtrennung von Cholesterin nach Bildung von Einschluss-Komplexen mit β -Cyclodextrinen,
- Abtrennung von Cholesterin nach Adsorption an Kieselgel, Aktivkohle, Calciumcarbonat oder andere Adsorbentien,
- Abtrennung von Cholesterin durch "Dämpfung" (Wasserdampf-Destillation, Desodorierung) tierischer Fette,
- Abtrennung von Cholesterin durch Molekulardestillation.

Cholesterin lässt sich beispielsweise aus Lebensmitteln abtrennen, indem es in den Ausgangsprodukten, wie etwa Milch und Eigelb, durch Zugabe von Saponinen oder Cyclodextrinen komplexiert wird und die entstandenen Cholesterin-Komplexe als Feststoffe abfiltriert oder abzentrifugiert werden. Anwendung dieses Verfahrens liefert beispielsweise Milch und Milchprodukte oder Flüssigeigelb mit einem um 80 - 90% reduzierten Cholesteringehalt. Zu ähnlichen Ergebnissen führen adsorptive Verfahren mit Calciumcarbonat, Aktivkohle und anderen Adsorbentien sowie die Extraktion mit überkritischem Kohlendioxid, mit deren Hilfe Cholesterin auch aus Fleisch und Wurstwaren entfernt werden kann. Zusammen mit dem Cholesterin extrahiertes Fett wird an einem Aluminiumoxid-Adsorber vom Cholesterin getrennt und dem Ausgangsprodukt wieder zugeführt.

Als Alternative zu physikalisch-chemischen Verfahren der Cholesterin-Reduzierung in Lebensmitteln bietet sich das Ausweichen auf pflanzliche Produkte an. Diese enthalten – im Gegensatz zu tierischen Erzeugnissen – kein oder nur unbedeutende Mengen Cholesterin. Tierfette können zum Beispiel teilweise oder ganz durch pflanzliche Fette und Öle oder Pflanzenmargarinen ersetzt werden. Als Ersatz von Eiern und Eiprodukten bieten sich pflanzliche Lecithine an, etwa Soja-Lecithin oder Soja-Lecithin-Zubereitungen, die im Handel erhältlich sind. Auf diese Weise kann der Cholesterin-Anteil bei der täglichen Nahrungsaufnahme drastisch verringert werden.

13 Fettersatzstoffe

Fettersatzstoffe werden bei der Herstellung von fett- und kalorienreduzierten Lebensmitteln eingesetzt. In Lebensmitteln aller Art kann der Fettanteil ganz oder teilweise durch

Fettersatzstoffe ausgetauscht werden, um Fettgehalt und Energieinhalt zu senken (Warwel und Weber 1999). Fettersatzstoffe in Lebensmitteln sollen dazu dienen, die Energieaufnahme der Verbraucher zu senken und auf diese Weise der Entstehung von Adipositas vorzubeugen. Der dauerhafte Erfolg solcher Maßnahmen ist allerdings umstritten. Ferner wird vor Gefahren für die Gesundheit durch nicht-glyceridische Fettersatzstoffe (z.B. Saccharose-polyester, Olestra[®]; Abbildung 12) gewarnt, so etwa vor einer verminderten Aufnahme von fettlöslichen Vitaminen und essenziellen Fettsäuren.

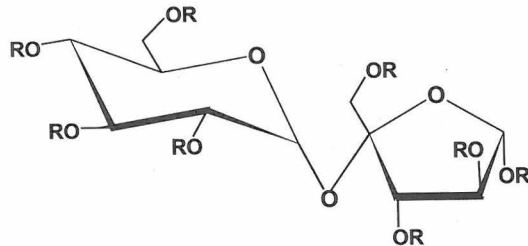


Abbildung 12 Chemische Struktur von Saccharose-polyestern (z.B. Olestra[®], Olean[™]); R = überwiegend Fettsäure-Reste, zum Teil H-Atome

Nicht-glyceridische Fettersatzstoffe werden von den Verdauungsenzymen des Magen-Darmtrakts nicht oder nur in geringem Maße hydrolysiert. Überwiegend passieren sie den Intestinaltrakt unverändert und leisten daher kaum einen Beitrag zum Energiestoffwechsel.

Referenzen

- Anderson, J.W. (1995) Short-chain fatty acids and lipid metabolism: Human studies, in: Physiological and clinical aspects of short-chain fatty acids (J.H. Cummings, J.L. Rombeau and T. Sakata, Eds.) pp. 509-523, Cambridge University Press, Cambridge
- Arab, L. and Steck, S. (2000) Lycopene and cardiovascular disease. *Amer. J. Clin. Nutr.* 71, 1691S-1695S
- Aruoma, O.I. (1998) Free radicals and antioxidants in human health and disease. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 75, 199-212
- Auerbach, M.H., Chang, P.W., Colman, S.L., O'Neill, J.J. and Philips, J.C. (1997) Salatrim reduced-calorie triacylglycerols. *Lipid Technol.* 9, 137-140
- Aviram, M. (1993) Modified forms of low density lipoprotein and atherosclerosis. *Atherosclerosis* 98, 1-9

- Babayan, V. K. (1987) Specialty lipids and their biofunctionality. *Lipids* 22, 417-420
- Babayan, V.K. (1988) Medium chain triglycerides, in: *Dietary Fat requirements in health and development* (J. Beare-Rogers, Ed.) pp. 73-86, AOCS Press, Champaign, IL
- Bach, A.C., Storck, D. and Meraihi, Z. (1988) Medium-chain triglycerides-based fat emulsions: An alternative energy supply in stress and sepsis. *J. Parenter. Enteral Nutr.* 12, 82S-88S
- Bach, A.C., Ingenbleek, Y. and Frey, A. (1996) The usefulness of dietary medium-chain triglycerides in body weight control: Fact or fancy? *J. Lipid Res.* 37, 708-726
- Baucells, M.D., Crespo, N., Barroeta, A.C., Lopez-Ferrer S. and Grashorn, M.A. (2000) Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs. *Poultry Sci.* 79, 51-59
- Biesalski, H.K., Böhles, H., Esterbauer, H., Fürst, P., Gey, F., Hundsdoerfer, G., Kasper, H., Sies, H. and Weisburger, J. (1997) Consensus statement: Antioxidant vitamins in prevention. *Clin. Nutr.* 16, 151-155
- Binnert, C., Pachiardi, C., Beylot, M., Hans, D., Vandermader, J., Chantre, P., Riou, J.-P. and Laville, M. (1998) Influence of human obesity on the metabolic fate of dietary long- and medium-chain triacylglycerols. *Am. J. Clin. Nutr.* 67, 595-601
- Bolton-Smith, C., Woodward, M. and Tavendale, R. (1997) Evidence for age-related differences in the fatty acid composition of human adipose tissue, independent of diet. *Eur. J. Clin. Nutr.* 51, 619-624
- Botsoglou, N.A., Yannakopoulos, A.L., Fletouris, D.J., Tserveni-Goussi, A.S. and Psomas, I.E. (1998) Yolk fatty acid composition and cholesterol content in response to level and form of dietary flaxseed. *J. Agric. Food Chem.* 46, 4652-4656
- Bouis, H. (1996) Enrichment of food staples through plant breeding: A new strategy for fighting micronutrient malnutrition. *Nutr. Rev.* 54, 131-137
- Bracco, U. (1994) Effect of triglyceride structure on fat absorption. *Am. J. Clin. Nutr.* 60, 1002S-1009S
- Bramley, P.M. (2000) Is lycopene beneficial to human health? *Phytochemistry* 54, 233-236
- van den Brandt, P.A., Spiegelman, D., Yaun, S.S., Adami, H.O., Beeson, L., Folsom, A.R., Fraser, G., Goldbohm, R.A., Kushi, L., Marshall, J.R., Miller, A.B., Rohan, T., Smith-Warner, S.A., Speizer, F.E., Willett, W.C., Wolk, A. and Hunter, D.J. (2000) Pooled analysis of prospective cohort studies on height, weight, and breast cancer risk. *Am. J. Epidemiol.* 152, 514-527
- Carroll, K.K. (1998) Obesity as a risk factor for certain types of cancer. *Lipids* 33, 1055-1059
- Carroll, K.K., Guthrie, N., Nesaretnam, K., Gapor, A. and Chambers, A.F. (1995)

- Anticancer properties of tocotrienols from palm oil, in: Nutrition, lipids, health and diseases (A.S.H. Ong, E. Niki and L. Packer, Eds.) pp. 117-121, AOCS Press, Champaign, IL
- Chao, R.R. (1996) Supercritical CO₂ extraction of meat products and edible animal fats for cholesterol reduction, in: Supercritical fluid technology in oil and lipid chemistry (J.W. King and G.R. List, Eds.) pp. 230-246, AOCS Press, Champaign, IL
- Chao, R.R., Mulvaney, S.J. and Huang, H. (1993) Effects of extraction and fractionation on supercritical extraction of cholesterol from beef tallow. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 70, 139-143
- Chaturvedi, P.A. and Chaturvedi, A. (2000) Effect of feeding crude red palm oil (*Elaeis guineensis*) and grain amaranth (*Amaranthus paniculatus*) to hens on total lipids, cholesterol, PUFA levels and acceptability of eggs. *Plant Foods Human Nutr.* 55, 147-157
- Christen, W.G., Buring, J.E., Manson, J.E. and Hennekens, C.H. (1999) Beta-carotene supplementation: A good thing, a bad thing, or nothing? *Curr. Opin. Lipidol.* 10, 29-33
- Christiansen, L.I., Lättheenmäki, P.L.A., Mannelin, M.R., Seppänen-Laakso, T.E., Hiltunen, R.V.K. and Yliruusi, J.K. (2001) Cholesterol-lowering effect of spreads enriched with microcrystalline plant sterols in hypercholesterolemic subjects. *Eur. J. Nutr.* 40, 66-73
- Cotter, R., Taylor, C.A., Johnson, R. and Rowe, W.B. (1987) A metabolic comparison of a pure long-chain triglyceride lipid emulsion (LCT) and various medium-chain triglyceride (MCT)-LCT combination emulsion on dogs. *Am. J. Clin. Nutr.* 45, 927-939
- De, N.K. (1937) The possible use of red palm oil in supplementing the vitamin A activity of common vegetable oils. *Ind. J. Med. Res.* 25, 11-15
- Deckelbaum, R.J., Hamilton, J.A., Moser, A., Bengtsson-Olivecrona, G., Butbul, E., Carpentier, Y.A., Gutman, A. and Olivecrona, T. (1990) Medium-chain versus long-chain triacylglycerol emulsion hydrolysis by lipoprotein lipase and hepatic lipase: implication for the mechanisms of lipase action. *Biochemistry-USA* 29, 1136-1142
- Demeyer, D. and Doreau, M. (1999) Targets and procedures for altering ruminant meat and milk lipids. *Proc. Nutr. Soc.* 58, 593-607
- DeMichele, S.J. and Karlstad, M.D. (1995) Short-chain triglycerides in clinical nutrition, in: Physiological and clinical aspects of short-chain fatty acids (J.H. Cummings, J.L. Rombeau and T. Sakata, Eds.) pp. 537-559, Cambridge University Press, Cambridge
- Deutsches Lebensmittelbuch: Leitsätze für Speisefette und Speiseöle 2002, Bundesanzeiger Verlag, Köln

- Devanaboyina, U.S. and Gupta, R.C. (1996) Sensitive detection of 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine in DNA by ³²P-postlabeling assay and the basal levels in rat tissues. *Carcinogenesis* 17, 917-924
- Drewnowski, A. and Gomez-Carneros, C. (2000) Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: A review. *Am. J. Clin. Nutr.* 72, 1424-1435
- Dutta, P. and Appelqvist, L.-Å. (1996) Saturated sterols (stanols) in unhydrogenated and hydrogenated edible vegetable oils and in cereal lipids. *J. Sci. Food Agric.* 71, 383-391
- Erbersdobler, H.F. und Meyer, A.H. (Hrsg.) (2001), *Praxishandbuch Functional Food*. Behr's Verlag, Hamburg
- Esterbauer, H. (1993) Cytotoxicity and genotoxicity of lipid-oxidation products. *Am. J. Clin. Nutr.* 57, 779S-786S
- Feng, Y., Papavassiliou, E.D., Arvind, P., Tsioulis, G.J. and Rigas, B. (1996) The effect of eicosanoids on the expression of MHC genes in cultured human colon cancer cells and mouse colonocytes in vivo. *Prostagl. Leukotr. Essent. Fatty Acids* 55, 373-378
- Ferrari, R.A., Schulte, E., Esteves, W., Brühl, L. and Mukherjee, K.D. (1996) Minor constituents of vegetable oils during industrial processing. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 73, 587-592
- Finley, J.W., Leville, G.A., Dixon, R.M., Walchak, C., Walchak, C.G., Sourby, J.C., Smith, R.E., Francis, K.D. and Otterburn, M.S. (1994a) Clinical assessment of SALATRIM, a reduced-calorie triacylglycerol. *J. Agric. Food Chem.* 42, 581-596
- Finley, J.W., Walchak, C.G., Sourby, J.C. and Leville, G.A. (1994b) Clinical study of the effects of exposure of various SALATRIM preparations to subjects in a free-living environment. *J. Agric. Food Chem.* 42, 597-604
- Flachowski, G. (1998) Einflußmöglichkeiten der Tierernährung auf Inhaltsstoffe und Qualität von Lebensmitteln tierischer Herkunft. *aid-Verbraucherdienst* 43, 388-392
- Gann, P.H., Ma, J., Giovanucci, E., Willett, W., Sacks, F.M., Hennekens, C.H. and Stampfer, M.J. (1999) Lower prostate cancer risk in men with elevated plasma lycopene levels: Results of a prospective analysis. *Cancer Res.* 59, 1225-1230
- Gibaldi, M. (1996) Antioxidant vitamins and health. *J. Clin. Pharmacol.* 36, 1093-1099
- Gibson, G.R. and Williams, C.M. (Eds.) (2000), *Functional Foods. Concept to product*. Woodhead Publ./CRC Press, Cambridge - Boca Raton
- Griendling, K.K. and Alexander, W. (1997) Oxidative stress and cardiovascular disease. *Circulation* 96, 3264-3265
- Gunstone, F.D. (Ed.) (2001a), *Structured and modified lipids*. Marcel Dekker, New York - Basel

- Gunstone, F.D. (2001b) Phospholipids, in: Structured and modified lipids, (F.D. Gunstone, Ed.) pp. 241-250, Marcel Dekker, New York - Basel
- Gunstone, F.D. and Pollard, M.R. (2001) Vegetable oils with fatty acid composition changed by plant breeding or by genetic modification, in: Structured and modified lipids (F.D. Gunstone, Ed.) pp. 155-184, Marcel Dekker, New York - Basel
- Haberstroh, C. and Morris, C.E. (Eds.) (1994), Fat and cholesterol reduced foods – Technologies and strategies. Advances in Applied Biotechnology Series, Vol. 12, Gulf Publ. Co., Houston, TX
- Halle, I. (2001) Effect of dietary fish oil and linseed oil on performance, egg components and fatty acid composition of egg yolk in laying hens. Arch. Geflügelkunde 65, 13-21
- Harris, W.J.P. (1995) The use of fats in animal feeds. Lipid Technol. 130-133
- Hashim, S.A. and Tantibhedyangkul, P. (1987) Medium chain triglyceride in early life: Effects on growth of adipose tissue. Lipids 22, 429-434
- Hauner, H. und Watzl, B. (2001) Antioxidantien in der Ernährung und Arteriosklerose. Dtsch. Med. Wschr. 126, 213-217
- Heertje, I., Roijers, E.C. and Hendrickx, H.A.C.M. (1998) Liquid crystalline phases in the structuring of food products. Food Sci. Technol. 31, 387-396
- Henwood, S., Wilson, D., White, R. and Trimbo, S. (1997) Developmental toxicity study in rats and rabbits administered an emulsion containing medium chain triglycerides as an alternative caloric source. Fundam. Appl. Toxicol. 40, 185-190
- Hirata, F., Fujita, K., Ishikura, Y., Hosada, K., Ishikawa, T. and Nakamura, H. (1996) Hypocholesterolemic effect of sesame lignan in humans. Atherosclerosis 122, 135-136
- Howard, B.V. and Kritchevsky, D. (1997) Phytochemicals and cardiovascular disease. A statement for healthcare professionals from the American Heart Association. Circulation 95, 2591-2593
- Hu, F.B., Stampfer, M.J., Rimm, E.B., Manson, J.E., Ascherio, A., Colditz, G.A., Rosner, B.A., Spiegelman, D., Speizer, F.E., Sacks, F.M., Hennekens, C.H. and Willett, W.C. (1999) A prospective study of egg consumption and risk of cardiovascular disease in men and women. J. Amer. Med. Assoc. 281, 1387-1394
- Hu, F.B., Manson, J.E. and Willett, W.C. (2001) Types of dietary fat and risk of coronary heart diseases: A critical review. J. Amer. Coll. Nutr. 20, 5-19
- Hunter, J.E. (2001) Studies on effects of dietary fatty acids as related to their position on triglycerides. Lipids 36, 655-668
- ILPS Newsletter (2001) The new "essential vitamin". (11), p. 1 (über "www.ilps.org"; The International Lecithin and Phospholipid Society)

- Jacobsen, K. (1999) Dietary modifications of animal fats: Status and future perspectives. Fett/Lipid 101, 475-483
- Jeukendrup, A.E., Thielen, J.J.H.C., Wagenmakers, A.J.M., Brouns, F. and Saris, W.H.M. (1998) Effect of medium-chain triacylglycerol and carbohydrate ingestion during exercise on substrate utilization and subsequent cycling performance. Am. J. Clin. Nutr. 67, 397-404
- Kagan, V.E., Fabisiak, J.P. and Quinn, P.J. (2000) Coenzyme Q and vitamin E need each other as antioxidants. Protoplasma 214, 11-18
- Kamal-Eldin, A., Appleqvist, L.A. and Yousif, G. (1994) Lignan analysis in seed oils from *Sesamum* species: Comparison of different chromatographic methods. J. Amer. Oil Chem. Soc. 71, 141-147
- Kanamangala, R.V., Maness, N.O., Smith, M.W., Brusewitz, G.H., Knight, S. and Chinta, B. (1999) Reduced lipid pecans: Chemical alterations and implications for quality maintenance during storage. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 124, 389-398
- Kang, M.H., Naito, M., Sakai, K., Uchida, K. and Osawa, T. (2000) Mode of action of sesame lignans in protecting low-density lipoprotein against oxidative damage in vitro. Life Sci. 66, 161-171
- King, J.W., Johnson, J.H. and Friedrich, J.P. (1989) Extraction of fat tissue from meat products with supercritical carbon dioxide. J. Agric. Food Chem. 37, 951-954
- Kinsella, J.E., Broughton, K.S. and Whelan, J.W. (1990) Dietary unsaturated fatty acids: Interaction and possible needs in relation to eicosanoid synthesis. J. Nutr. Biochem. 1, 123-141
- Kishino, S., Ogawa, J., Omura, Y., Matsumura, K. and Shimizu, S. (2002) Conjugated linoleic acid production from linoleic acid by lactic acid bacteria. J. Amer. Oil Chem. Soc. 79, 159-163
- Klipstein-Grobusch, K., Geleijnse, J.M., den Breeijen, J.H., Boeing, H., Hofman, A., Grobbee, D.E. and Witteman, J.C.M. (1999) Dietary antioxidants and risk of myocardial infarction in the elderly: The Rotterdam study. Amer. J. Clin. Nutr. 69, 261-266
- Kochhar, S.P. (1996) An overview of influence of processing on minor components of oils and fats, in: Oils – fats – lipids, 1995 Proceedings of the 21st World Congress of the International Society for Fat Research (ISF), The Hague, Vol. 1, pp. 167-171, P.J. Barnes & Assoc., Bridgewater
- Kontogianni, A., Skouridou, V., Sereti, V., Stamatis, H. and Kolisis, N. (2001) Regioselective acylation of flavonoids catalyzed by lipase in low toxicity media. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 103, 655-660

- Kovacs, G., Schmidt, J., Husveth, F., Dublec, K., Wagner, L. and Farkas-Zele, E. (2000) Effect of feed composition on cholesterol content of the table egg. *Acta Aliment.* 29, 25-41
- Kritchevsky, D. (2001) Caloric restriction and cancer. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 47, 13-19
- Kritchevsky, S.B. (1998) β -Carotene, carotenoids and the prevention of coronary heart disease. *J. Nutr.* 129, 5-8
- Kushi, L.H., Folsom, A.R., Prineas, R.J., Mink, P.J., Wu, Y. and Bostick, R.M. (1996) Dietary antioxidant vitamins and death from coronary heart disease in postmenopausal women. *New Engl. J. Med.* 334, 1156-1162
- Lambelet, P., Lölliger, J., Saucy, F. and Bracco, U. (1992) Antioxidant properties of coenzyme Q₁₀ in food systems. *J. Agric. Food Chem.* 40, 581-584
- Lands, W.E.M. (2001) Impact of daily food choices on health promotion and disease prevention, *World Rev. Nutr. Diet.* 88, 1-5
- Lanzani, A., Bondioli, P., Mariani, C., Folegatti, L., Venturini, S., Fedeli, E. and Barreteau, P. A. (1994) new short-path distillation system applied to the reduction of cholesterol in butter and lard. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 71, 609-614
- Lces, A.M., Mok, H.Y.I., Lces, R.S., McCluskey, M.A. and Grundy, S.M. (1997) Plant sterols as cholesterol-lowering agents: Clinical trials in patients with hypercholesterolemia and studies of sterol balance. *Atherosclerosis* 28, 325-328
- Lebensmittelchemische Gesellschaft (Hrsg.) (2001), Funktionelle Lebensmittel – Lebensmittel der Zukunft. Erwartungen, Wirkungen, Risiken. Behr's Verlag, Hamburg
- Lee, M.M. and Lin, S.S. (2000) Dietary fat and breast cancer. *Annu. Rev. Nutr.* 20, 221-228
- Lengfelder, W. (1998) Antioxidative Vitamine: Prävention von kardiovaskulären Erkrankungen. *Dtsch. Med. Wschr.* 123, 1014-1017
- Levine, A.S. (2001) Energy density of foods: Building a case for food intake management. *Am. J. Clin. Nutr.* 73, 999-1000
- Lewis, N.M., Seburg, S. and Flanagan, N.L. (2000) Enriched eggs as a source of n-3 polyunsaturated fatty acids for humans. *Poultry Sci.* 79, 971-974
- Lewis, P.T., Wahala, K., Hoikkala, A., Mutikainen, I., Meng, Q.H., Adlercreutz, H. and Tikkanen, M.J. (2000) Synthesis of antioxidant isoflavone fatty acid esters. *Tetrahedron* 56, 7805-7810
- Lichtenstein, A.H., Ausman, L.M., Carrasco, W., Gualtieri, L.J., Jenner, J.L., Ordovas, J.M., Nicolosi, R.J., Goldin, B.R. and Schaefer, E.J. (1994) Rice bran oil consumption

- and plasma lipid levels in moderately hypercholesterolemic humans. *Arterioscler. Thromb.* 14, 549-556
- Ling, W.H. and Jones, P.J.H. (1995) Dietary phytosterols: A review of metabolism, benefits and side effects. *Life Sci.* 57, 195-206
- Liu, J.-W., DeMichele, S., Bergana, M., Bobik, E., Jr., Hastilow, C., Chuang, L.-T., Mukerji, P. and Huang, Y.-S. (2001) Characterization of oil exhibiting high γ -linolenic acid from a genetically transformed canola strain. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 78, 489-493
- Liu, Z.-Q., Ma, L.-P. and Liu, Z.-L. (1998) Making vitamin C lipophilic enhances its protective effect against free radical induced peroxidation of low density lipoprotein. *Chem. Phys. Lipids* 95, 49-57
- Macrae, A.R. (1983) Lipase-catalyzed interesterification of oils and fats. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 60, 243A-246A
- Mantzioris, E., Cleland, L.G., Gibson, R.A., Neumann, M.A., Demasi, M. and James, M.J. (2000) Biochemical effects of a diet containing foods enriched with n-3 fatty acids. *Am. J. Clin. Nutr.* 72, 42-48
- Marnett, L.J. (1994) Generation of mutagens during arachidonic acid metabolism. *Cancer Metastasis Rev.* 13, 303-308
- Meng, Q.H., Lewis, P., Wahala, K., Adlercreutz, H. and Tikkanen, M.J. (1999) Incorporation of esterified soybean isoflavones with antioxidant activity into low density lipoprotein. *Biochim. Biophys. Acta - Molec. Cell Biol. Lipids* 1438, 369-376
- Merolli, A., Lindemann, J., Cerrito, E. and Del Vecchio, A.J. (1997) Medium-chain lipids: New sources, uses. *Int. News Fats Oils Relat. Mater.* 8, 597-603
- Micich, T.J., Foglia, T.A. and Holsinger, V.H. (1992) Polymer-supported saponins: An approach to cholesterol removal from butteroil. *J. Agric. Food Chem.* 40, 1321-1325
- Middleton, E., Kandaswami, C. and Theoharides, T.C. (2000) The effect of plant flavonoids on mammalian cells: Implications for inflammation, heart disease, and cancer. *Pharmacol. Rev.* 52, 673-751
- Mori, A.V., Mendonca, C.X., Jr. and Santos, C.O.F. (1999) Effect of dietary lipid-lowering drugs upon plasma lipids and egg yolk cholesterol levels of laying hens. *J. Agric. Food Chem.* 47, 4731-4735
- Mounts, T.L., Abidi, S.L. and Rennie, K.A. (1996) Effect of genetic modification on the content and composition of bioactive constituents in soybean oil. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 73, 581-586
- Mukherjee, K.D. (1990) Lipase-catalyzed reactions for modification of fats and other lipids. *Biocatalysis* 3, 277-293

- Mukherjee, K.D. (1992) Gewinnung wertvoller Lipide mit Hilfe enzymatischer Reaktionen. *Fat Sci. Technol.* 94, 542-546
- Mukherjee, K.D. (1999) Production and use of microbial oils. *Int. News Fats Oils Relat. Mater.* 10, 308-313
- Mukherjee, K.D. und Warwel, S. (1997) Strukturierte Triglyceride, in: *Fette in der Ernährung*, Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 464 (S. Warwel und N. Weber, Wissenschaftl. Koordination) S. 69-90, Landwirtschaftsverlag, Münster
- Murata, M., Die, T. and Hara, K. (1997) Reciprocal responses to dietary diacylglycerol of hepatic enzymes of fatty acid synthesis and oxidation in the rat. *Brit. J. Nutr.* 77, 107-121
- Murphy, D.J. (1996) Engineering oil production in rapeseed and other oil crops. *Trends Biotechnol.* 14, 206-213
- Na, A., Eriksson, C., Eriksson, S.-G., Österberg, E. and Holmberg, K. (1990) Synthesis of phosphatidylcholine with (n-3) fatty acids by phospholipase A₂ in microemulsion. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 67 766-770
- Nagao, T., Watanabe, H., Goto, N., Onizawa, K., Taguchi, H., Matsuo, N., Yasukawa, T., Tsushima, R., Shimasaki, H. and Itakura, H. (2000) Dietary diacylglycerol suppresses accumulation of body fat compared to triacylglycerol in men in a double-blind controlled trial. *J. Nutr.* 130, 792-797
- Naruszewicz, M., Wozny, E., Mirkiewicz, E., Nowicka, G. and Szostak, W.B. (1987) The effect of thermally oxidized soya bean oil on metabolism of chylomicrons. Increased uptake and degradation of oxidized chylomicrons in cultured mouse macrophages. *Atherosclerosis* 66, 45-53
- Naves, M.M.V. and Moreno, F.S. (1998) β -Carotene and cancer chemoprevention: From epidemiological associations to cellular mechanisms of action. *Nutr. Res.* 18, 1807-1824
- Nitsan, Z., Mokady, S. and Sukenik, A. (1999) Enrichment of poultry products with ω 3 fatty acids by dietary supplementation with the alga *Nannochloropsis* and mantur oil. *J. Agric. Food Chem.* 47, 5127-5132
- Oakenfull, D. (1996) Appendix VI: A note on proposed technologies for extracting cholesterol from food, in: *Handbook of lipids in human nutrition* (G.A. Spiller, Ed.), pp. 221-224, CRC Press, Boca Raton – New York
- Odle, J. (1997) New insights into the utilization of medium-chain triglycerides by the neonate: Observations from a piglet model. *J. Nutr.* 127, 1061-1067
- Okuyama, H., Kobayashi, T. and Watanabe, S. (1997) Dietary fatty acids – The n-6/n-3 balance and chronic elderly diseases. Excess linoleic acid and relative n-3 deficiency

- syndrome seen in Japan. *Prog. Lipid Res.* 35, 409-457
- Palozza, P. (1998) Prooxidant actions of carotenoids in biologic systems. *Nutr. Rev.* 56, 257-265
- Parthasarathi, S., Santanam, N., Ramachandran, S. and Meilhac, O. (1999) Oxidants and antioxidants in atherogenesis: An appraisal. *J. Lipid Res.* 40, 2143-2157
- Pignatelli, P., Pulcinella, F.M., Celestini, A., Lenti, L., Ghiselli, A., Gazzaniga, P.P. and Violi, F. (2000) The flavonoids quercetin and catechin synergistically inhibit platelet function by antagonizing the intracellular production of hydrogen peroxide. *Amer. J. Clin. Nutr.* 72, 1150-1155
- Pryor, W.A., Stahl, W. and Rock, C.L. (2000) Beta carotene: From biochemistry to clinical trials. *Nutr. Rev.* 58, (2) (Part 1) 39-53
- Ragotzky, K. (1999) 1.2 Pflanzensterole, in: *Praxishandbuch Functional Food*, (H.F. Erbersdobler und A.H. Meyer, Hrsg.) S. 1-18, Behr's Verlag, Hamburg
- Rechkemmer, G. (1999) Antioxidants and their role in healthy nutrition, in: 3rd Karlsruhe Nutrition Symposium. European Research towards Safer and Better Food (V. Gaukel and W.E.L. Spieß, Eds.) Part 3, pp. 50-58, Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Karlsruhe
- Rice-Evans, C.A., Miller, N.J. and Paganga, G. (1996) Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Rad. Biol. Med.* 20, 933-956
- Rickard, S.E. and Thompson, L.U. (1997) Health effects of flaxseed mucilage. *Int. News Fats Oils Relat. Mater.* 8, 860-865
- Rindgen, D., Lee, S.H., Nakajima, M. and Blair, I.A. (2000) Formation of a substituted 1,N-6-etheno-2'-deoxyadenosine adduct by lipid hydroperoxide-mediated generation of 4-oxo-nonenal. *Chem. Res. Toxicol.* 13, 846-852
- Ronden, J.E., Soute, B.A.M., Thijssen, H.H.W., Saupe, J. and Vermeer, C. (1996) Natural prenylquinones inhibit the enzymes of the vitamin K cycle in vitro. *Biochim. Biophys. Acta* 1298, 87-94
- Rong, N., Ausman, L.M. and Nicolosi, R.J. (1997) Oryzanol decreases cholesterol absorption and aortic fatty streaks in hamsters. *Lipids* 32, 303-309
- Rose, D.P. and Connolly, J.M. (1992) Dietary fat, fatty acids and prostate cancer. *Lipids* 27, 798-803
- Rose, D.P. and Connolly, J.M. (1999) Omega-3 fatty acids as cancer chemopreventive agents. *Pharmacol. Therapeutics* 83, 217-244
- Sandrou, D.K. and Arvanitoyannis, I.S. (2000) Low-fat/calorie foods: Current state and perspectives. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 40, 427-447

- Sandström, B., Bügel, S., Lauridsen, C., Nielsen, F., Jensen, C. and Skibsted, L.H. (2000) Cholesterol-lowering potential in human subjects of fat from pigs fed rapeseed oil. *Brit. J. Nutr.* 84, 143-150
- Sauer, L.A., Dauchy, R.T. and Blask, D.E. (2000) Mechanism for the antitumor and anticachectic effects of n-3 fatty acids. *Cancer Res.* 60, 5289-5295
- Schneider, M. (1997) Industrial production of phospholipids – Lecithin processing. *Lipid Technol.* 9, 109-116
- Schneider, M. (2001) Phospholipids for functional food. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 103, 98-101
- Schwenke, D.C. (1998) Antioxidants and atherogenesis. *J. Nutr. Biochem.* 9, 424-445
- Shahidi, F. and Shukla, V.K.S. (1996) Nontriacylglycerol constituents of fats, oils. *Int. News Fats Oils Relat. Mater.* 7, 1227-1232
- Simopoulos, A.P. (2000) Human requirement for n-3 polyunsaturated fatty acids. *Poultry Sci.* 79, 961-970
- Simopoulos, A.P., Leaf, A. and Salem, N., Jr. (1999) Essentiality of and recommended dietary intakes for omega-6 and omega-3 fatty acids. *Ann. Nutr. Metab.* 43, 127-130
- Small, D.M. (1991) The effects of glyceride structure on absorption and metabolism. *Annu. Rev. Nutr.* 11, 413-434
- Smith, R.E., Finley, J.W. and Leveille, G.A. (1994) Overview of SALATRIM, a family of low-calorie fats. *J. Agric. Food Chem.* 42, 432-434
- Softly, B.J., Huang, A.S., Finley, J.W., Petersheim, M., Yarger, R.G., Chrysam, M.M., Wiczorek, R.L., Otterburn, M.S., Manz, A. and Templeman, G.J. (1994) Composition of representative SALATRIM fat preparations. *J. Agric. Food Chem.* 42, 461-467
- Stanley, J. (1999) Beta-carotene – Friend or foe? *Lipid Technol.* 14-16
- Staprāns, I., Rapp, J. H., Pan, X.-M., Hardman, D.A. and Feingold, K.R. (1996) Oxidized lipids in the diet accelerate the development of fatty streaks in cholesterol-fed rabbits. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* 16, 533-538
- Stein, T.P., Fried, R.C., Torosian, M.H., Leskiw, M.J., Schluter, M.D., Settle, R.G. and Buzby, G.P. (1986) Comparison of glucose, LCT and LCT plus MCT as calorie sources for parenterally nourished septic rats. *Am. J. Physiol.* 250, E312-E318
- Stein, T.P., Presti, M.E., Leskiw, M.J., Torosian, M.E., Settle, R.G., Buzby, G.P. and Schluter, M.D. (1984) Comparison of glucose, LCT and LCT plus MCT as calorie sources for parenterally nourished rats. *Am. J. Physiol.* 246, E277-E287
- Steinberg, D., Parthasarathy, S., Carew, T.E., Khoo, J.C. and Witztum, J.L. (1989) Beyond cholesterol: Modifications of low-density lipoprotein that increase its atherogenicity.

- New Engl. J. Med.* 320, 915-924
- Stone, W.L. and Papas, A.M. (1997) Tocopherols and the etiology of colon cancer. *J. Natl. Cancer Inst.* 89, 1006-1014
- Surai, P.F., MacPherson, A., Speake, B.K. and Sparks, N.H.C. (2000) Designer egg evaluation in a controlled trial. *Eur. J. Clin. Nutr.* 54, 298-305
- Szuhaj, B.F. (Ed.) (1989), *Lecithins: Sources, manufacture, and uses.* AOCS Press, Champaign, IL
- Therriault, A., Chao, J.-T., Wang, Q., Gapor, A. and Adeli, K. (1999) Tocotrienol: A review of its therapeutic potential. *Clin. Biochem.* 32, 309-319
- Thompson, L.U., Rickard, S.E., Orcheson, L.J. and Seidl, M.M. (1996) Flaxseed and its lignan and oil components reduce mammary tumor growth at a late stage of carcinogenesis. *Carcinogenesis* 17, 1373-1376
- Totani, Y. and Hara, S. (1991) Preparation of polyunsaturated phospholipids by lipase-catalyzed transesterification. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 68, 848-851
- Traber, M.G. (2001) Vitamin E: Too much or not enough? *Am. J. Clin. Nutr.* 73, 997-998
- Träger, W. (1993) Was ist beim Einsatz von MCT-Fetten in der praktischen Diätetik zu beachten? *Ernährungs-Umschau* 40, 345-347
- Utsunomiya, T., Chavali, S.R., Zhong, W.W. and Forse, R.A. (2000) Effects of sesamin-supplemented dietary fat emulsions on the ex vivo production of lipopolysaccharide-induced prostanoids and tumor necrosis factor alpha in rats. *Amer. J. Clin. Nutr.* 72, 804-808
- Valk, E.E.J. and Hornstra, G. (2000) Relationship between vitamin E requirement and polyunsaturated fatty acid intake in man: A review. *Int. J. Vitamin Nutr. Res.* 70, 31-42
- Velázquez, O.C., Seto, R.W. and Rombeau, J.L. (1996) The scientific rationale and clinical application of short-chain fatty acids and medium-chain triacylglycerols. *Proc. Nutr. Soc.* 55, 49-78
- Visioli, F. and Galli, C. (2001) Phenolics from olive oil and its waste products, *World Rev. Nutr. Diet.* 88, 233-237
- Voelker, T. (1996) Applications of plant biotechnology to edible oils, in: *Food lipids and Health* (R.E. McDonald and D.B. Min, Eds.) pp. 371-383, Marcel Dekker, New York
- Walter, P. (1997) Empfehlungen zur Aufnahme von Vitamin E – heutiger Stand und Ausblick. *Fett/Lipid* 99, 274-277
- Wan, J.M., Teo, T.C., Babayan, V.K. and Blackburn, G.L. (1988) Invited comment: Lipids and the development of immune dysfunction and infection. *J. Parenter. Enteral Nutr.* 12, 42S-52S

- Wang, C. and Wixon, R. (1999) Phytochemicals in soybeans. Their potential health benefits. *Int. News Fats Oils Relat. Mater.* 10, 315-321
- Warwel, S. und Weber, N. (Wissenschaftl. Koordination) (1999), Fettersatzstoffe, Fettaustauschstoffe, Designer-Lipide. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 484, Landwirtschaftsverlag, Münster
- Watanabe, H., Nagao, T., Yasukawa, T. and Shimasaki, H. (2001) Studies on the role of dietary diacylglycerols in human nutrition, *World Rev. Nutr. Diet.* 88, 155-162
- Watanabe, H., Onizawa, K., Taguchi, H., Fujimori, N., Naito, S., Goto, N., Hattori, M. and Shimasaki, H. (1997) Effects of diacylglycerol on lipid metabolism in human. *J. Japan. Oil Chem. Soc.* 46, 309-314
- Weber, N. und Mukherjee, K.D. (2001) Enzymatisches Verfahren zur Herstellung von Carbonsäure-sterylestern. Deutsche Offenlegung. DE 100 18 787 A1
- Weber, N. und Mukherjee, K.D. (2002) Enzymatisches Verfahren zur Herstellung von Fettsäure-sterylestern aus Dämpferdestillaten der Fettraffination und Tallöl. Deutsche Offenlegung. DE 101 19 972 A1
- Weber, N., Weitkamp, P. and Mukherjee, K.D. (2001) Fatty acid steryl, stanyl and steroid esters by esterification and transesterification in vacuo using *Candida rugosa* lipase as catalyst. *J. Agric. Food Chem.* 49, 67-71
- Weber, P., Bendich, A. and Machlin, L.J. (1997) Vitamin E and human health: Rationale for determining recommended intake levels. *Nutrition* 13, 450-460
- Weggemans, R.A., Zock, P.L. and Katan, M.B. (2001) Dietary cholesterol from eggs increases the ratio of total cholesterol to high-density lipoprotein cholesterol in humans: A meta-analysis. *Am. J. Clin. Nutr.* 73, 885-891
- Westerterp-Platenga, M.S. (2001) Analysis of energy density of food in relation to energy intake regulation in human subjects. *Brit. J. Nutr.* 85, 351-361
- Weststrate, J.A. and Meijer, G.W. (1998) Plant sterol-enriched margarines and reduction of plasma total- and LDL-cholesterol concentrations in normocholesterolaemic and mildly hypercholesterolaemic subjects. *Eur. J. Clin. Nutr.* 52, 334-343
- Wheeler, E. (1995) Commercial potential for Salatrim. *Int. News Fats Oils Relat. Mater.* 6, 1156-1159
- Wolfram, G. (1994) Fette und Ernährung aus Sicht der DGE. *Fat Sci. Technol.* 96, 39-41
- Williams, C.M. (1998) Nutrition and therapeutics. *Curr. Opin. Lipidol.* 9, 165-167
- Witting, P.K., Peterson, K., Letters, J. and Stocker, R. (2000) Anti-atherogenic effect of coenzyme Q₁₀ in apolipoprotein E gene knockout mice. *Free Rad.*

Biol. Med. 29, 295-305

- Yazawa, K. (2001) Recent development of health foods enriched with DHA, EPA and DPA in Japan, *World Rev. Nutr. Diet.* 88, 249-252
- Yeh, Y.Y., Klein, L.B. and Zee, P. (1978) Long and medium chain triglycerides increase plasma concentrations of ketone bodies in suckling rats. *Lipids* 13, 566-571
- Yeh, A.-I., Liang, J.H. and Hwang, L.S. (1991) Separation of fatty acid esters from cholesterol in esterified natural and synthetic mixtures by supercritical carbon dioxide. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 68, 224-229
- Young, G.P. and Gibson, P.R. (1995) Butyrate and the human cancer cell, in: *Physiological and clinical aspects of short-chain fatty acids* (J.H. Cummings, J.L. Rombeau and T. Sakata, Eds.) pp. 319-335, Cambridge University Press, Cambridge
- Zock, P.L. and Katan, M.B. (1998) Linoleic acid intake and cancer risk: A review and meta-analysis. *Am. J. Clin. Nutr.* 68, 142-153
- Zeisel, S.H. and Szuhaj, B.F. (Eds.) (1998) *Choline, phospholipids, health, and disease.* AOCS Press, Champaign, IL

Dr. Nikolaus Weber
Dr. Kumar D. Mukherjee
Prof. Dr. Siegfried Warwel

Institut für Lipidforschung
 Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung
 Piusallee 68/76
 48147 Münster