

# Untersuchungen über die Fettsäure- und Tocopherolgehalte von Pflanzenölen

## Abschlußbericht über das Arbeitsprojekt „Pflanzenöle“

im Rahmen der ABM-Förderung des Arbeitsamtes Karlsruhe

Projektnehmer:	Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim
Projektbearbeiter:	Dr. Sigrid Kerschbaum
Projektlaufzeit:	15.09.1999 bis 14.09.2000
Berichtersteller:	Sigrid Kerschbaum, Paul Schweiger <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim , Kutschenweg 20, 76287 Rheinstetten

## Inhaltsverzeichnis

Ziffer	Inhalt	Seite
1	Projektziel und Einleitung	3
2	Untersuchtes Material	5
3	Analysenmethoden	6
3.1	Extraktion	6
3.2	Bestimmung der Fettsäuren und Tocopherole	7
4	Ergebnisse der Untersuchungen	8
4.1	Vorkommen der Fettsäuren in Pflanzenölen	8
4.2	Fettsäuregehalte der einzelnen Pflanzenöle	11
4.2.1	Öle mit sehr hohen Gehalten an mehrfach ungesättigten Fettsäuren	11
4.2.2	Öle mit hohen Gehalten an mehrfach ungesättigten Fettsäuren, teilweise mit höheren Gehalten an Ölsäure	16
4.2.3	Öle mit hohen Gehalten an Ölsäure, teilweise mit geringeren Gehalten an mehrfach ungesättigten Fettsäuren	18
4.2.4	Spezielle Öle mit wenig mehrfach ungesättigten Fettsäuren, teilweise mit höheren Gehalten an Ölsäure oder besonderen Fettsäuren	21
4.2.5	Getreidearten: mittlere Gehalte an Ölsäure, hohe Gehalte an Linolsäure	24
4.2.6	Sonderöle mit hohen Gehalten an seltenen Fettsäuren	25
4.3	Veränderung der Pflanzenöle	27
4.3.1	Einfluß der Lagerzeit und Lichteinwirkung	27
4.3.2	Einfluß der Erhitzung	31
4.4	Tocopherolgehalte von Pflanzenölen	36
4.5	Tocopherolgehalte von Pseudocerealien	40
4.6	Begleitstoffe pflanzlicher Öle	42
4.7	Verwendungszwecke pflanzlicher Öle	45
5	Zusammenfassung	48
6	Literaturverzeichnis	50

# 1 Projektziel und Einleitung

## Projektziel

An der Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim finden seit einigen Jahren pflanzenbauliche Versuche zum Anbau neuer Kulturen statt. Dabei geht es in erster Linie um deren Ansprüche an den Standort (Boden, Witterung) und deren Leistungen im Wachstum, insbesondere Ertragshöhe, Ertragssicherheit usw. Ergänzend dazu findet eine Untersuchung der Inhaltsstoffe bzw. der Qualität der Ernteerzeugnisse statt.

In der Gruppe der neu bearbeiteten Pflanzenarten sind auch einige Ölpflanzen (Hanf, Mohn und Pseudocerealien) enthalten. Daher lag es nahe, die Fettgehalte, Fettzusammensetzung und Bestimmung von Fettbegleitstoffen im Erntegut zu untersuchen. Da derartige Aufgaben mit dem vorhandenen Personal nicht erledigt werden können, kam es zur Durchführung des vorliegenden Arbeitsvorhabens, gefördert über das Arbeitsamt Karlsruhe. Ziel des Vorhabens war die Erarbeitung zusammenhängender und damit vergleichbarer Informationen über die verschiedenen Pflanzenöle und deren Begleitstoffe um ggf. die bei uns anbauwürdigen Arten künftig besser beurteilen und nutzen zu können.

Diesem Projektzeitraum ging ein ebenfalls einjähriger Abschnitt zum gleichen Thema voraus, über den schon vorab berichtet wurde (10).

## Einleitung

Pflanzliche Fette und Öle werden aus den Samen oder Früchten von mehr als 40 Pflanzenarten gewonnen; sie hatten für die Menschen seit jeher eine große Bedeutung. Einerseits dienen sie als energiereiche Nahrungsquelle, andererseits werden sie als Heilmittel und zur Körperpflege verwendet (1). Bekannt ist ebenfalls eine große Palette technischer Anwendungen. Sie reicht von der Verwendung als Lampenöl bis zur Herstellung von Farben bzw. in neuester Zeit zur Herstellung von Biodiesel (2 - 4).

Im naturbelassenen Zustand unterscheiden sich Pflanzenöle sehr stark in Farbe und Geschmack. Ebenfalls große Unterschiede gibt es bei Fettsäurezusammensetzung. Diese ist aus ernährungsphysiologischer Sicht von besonderer Bedeutung. Wünschenswert ist ein hoher Anteil an ungesättigten Fettsäuren. Neben Fettsäuren findet man in Ölen und Fetten eine große Anzahl anderer wichtiger Bestandteile. Dazu gehören fettlösliche Vitamine, Phytosterine, Lecithin, Flavonoide, Mineralstoffe und Spurenelemente (5, 6). Ihre Wirkung auf den menschlichen Organismus wird jedoch erst seit wenigen Jahren untersucht.

Besondere Beachtung findet dabei das Vitamin E. Dieses Vitamin wirkt in den Ölen als Radikalfänger. Es schützt somit die besonders reaktiven, mehrfach ungesättigten Fettsäuren vor der Oxidation. Eine ähnliche Wirkung entfaltet Vitamin E im menschlichen Orga-

nismus. Es verhindert die Oxidation der Zellmembran und verzögert somit eine vorzeitige Alterung der Zelle.

Ein weiteres Unterscheidungskriterium der im Handel erhältlichen Öle ist ihre Herstellungsart (7,8). Kaltgepreßte Öle enthalten alle wertvollen Inhaltsstoffe, sind aber in der Regel weniger lange haltbar als raffinierte Öle. Warmgepreßte und/oder extrahierte Öle werden nach der Extraktion noch chemisch behandelt (Raffination), um unerwünschte Begleitstoffe zu entfernen. Bei derartigen Gewinnungsverfahren ist die Ausbeute des Rohstoffes zwar größer als bei dem einfachen „Kaltpressen“, es gehen aber auch ernährungsphysiologisch wichtige Bestandteile verloren. Man erhält dabei geruchs- und geschmacksneutrale Öle. Die Fettsäuregehalte unterscheiden sich nur wenig.

Welches Öl man nutzen möchte, hängt von dem gewünschten Verwendungszweck ab; es ist daher nötig, die Fettsäurezusammensetzung, die Herstellungsart sowie die anderen Bestandteile des Öls möglichst gut zu kennen. Dazu wurde der Fettsäure- und Vitamin E Gehalt der Öle analytisch bestimmt; weitere Daten und Informationen sind der Literatur entnommen.

Für Nutzung der Pflanzenöle ist es auch wichtig, ihre Haltbarkeit zu kennen. Ranzige Öle schmecken nicht nur unangenehm, sie enthalten auch gesundheitsschädliche Bestandteile (9). In der Regel sollten Öle kühl und dunkel aufbewahrt werden. Aber auch dann sind sie nicht unbegrenzt haltbar. In der vorliegenden Arbeit soll ebenfalls gezeigt werden, wie sich Lagerzeit und Lagerbedingungen sowie Erhitzungen auf die Fettsäuregehalte der Öle auswirken.

## 2 Untersuchtes Material

Für die Fettsäure- und Tocopheroluntersuchungen standen eine große Anzahl an Pflanzenölen zur Verfügung. Die mittleren Fettsäuregehalte für Raps- bzw. Sonnenblumenöl wurden aus je 15 verschiedenen Sorten aus dem Versuchsanbau ermittelt (10). In der genannten Literatur sind außerdem die Fettsäuregehalte der einzelnen Sonnenblumen- und Hanfölsorten in einzelnen dargestellt. Neun weitere untersuchte Ölpflanzen sowie die verwendeten Amaranth- und Quinoaproben wurden aus den jeweiligen Körnern extrahiert, alle anderen Öle wurden fertig eingekauft (Tab. 1).

Bei den durch Extraktion gewonnenen Ölen handelte es sich um je eine Probe Mohn (1998), Hanf (2000) und Tabaksamen (1997) aus dem Anbau der LAP Forchheim, die Samen einer Königskerze, Baumhaselnüsse, Kürbiskerne, Schwarzkümmel aus der Türkei und zwei Proben Lein aus den Jahren 1999 und 2000, erworben bei „Alnatura“.

Zwei Hanföle und ein Mohnöl stammten aus dem Anbau der LAP Forchheim und wurden auch dort durch Kaltpressung hergestellt. Alle anderen waren im Handel erhältlich. 11 Öle wurden bei der Firma Spinnrad gekauft, die restlichen Öle stammen von unterschiedlichen Bezugsquellen. Die Öle sind verständlicherweise nicht der gleichen Qualitätsstufe; dies ist bei der Betrachtung der Ergebnisse der Untersuchungen gelegentlich von Bedeutung.

Tab. 1: Herkunft der untersuchten Pflanzenöle (eigener Anbau bzw. Kauf von handelsüblichen Ölen)

Bezugsquelle	Ölsorte
LAP Forchheim (eigener Anbau)	Hanföl, Mohnöl, Getreidearten
Spinnrad	Sanddornöl, Haselnußöl, Nachtkerzenöl, Weizenkeimöl, Sojaöl, Kokosöl, Wildrosenöl, Borretschöl, Mandelöl, Macadamiaöl, Rizinusöl
Rapunzel	Hanföl, Distelöl
Vitus	Distelöl
Brändle	Erdnußöl, Walnußöl, Sesamöl
Amoy	Sesamöl

Bezugsquelle	Ölsorte
Alnatura	Mandelöl
Kattus	Macadamiaöl
Weingut Schwarzer Adler	Traubenkernöl
Kalifornien	Avocadoöl
Spar, Dante	Olivenöl
Linea Rousso	Aprikosenkernöl
Wolfram Berge, Delikatessen	Pistazienkernöl
Türkei	Lorbeeröl, Olivenöl, Olivenöl aus reinem Fruchtfleisch
Italien	Olivenöl

Die Vielzahl der untersuchten Öle ermöglicht es, einen Überblick über das breite Spektrum der Pflanzenöle zu erhalten. Bei der Auswahl wurde darauf geachtet, daß möglichst viele Ölgruppen vertreten waren, so z.B. Keimöle, Nußöle, Kernöle aber auch Öle, die auf Grund bestimmter Fettsäuren interessant sind, wie z.B. Rizinusöl.

## 3 Analysenmethoden

### 3.1 Extraktion

#### Apparatur

Zur Gewinnung der Pflanzenöle stand ein Serienextraktor der Fa. Ika Labortechnik zur Verfügung. Er ermöglicht die Durchführung von vier Extraktionen gleichzeitig. Das Gerät besteht im wesentlichen aus einem Magnetrührer mit Heizplatte, einem Kühl-Heiz-Block mit Magnetventil und einer Glasapparatur zur Aufnahme des Extraktionsgutes und des Extraktionsmittels. Gesteuert wird die Extraktion durch eine spezielle Software über einen PC.

Rührgeschwindigkeit, Heiz- und Kühltemperaturen, Anzahl der Extraktionszyklen, sowie die Dauer der Kühl- und Heizphasen lassen sich am PC einstellen. Diese Parameter müssen zuvor experimentell bestimmt werden. Die aktuellen Daten werden entweder direkt am Gerät oder am Monitor erfaßt.

Die Kühlung erfolgt mittels eines Heiz-Kühl-Block aus Aluminium. Dieser ist über ein Magnetventil an die Wasserleitung angeschlossen. Das Ventil öffnet sich, sobald die Heizphase abgeschlossen ist, und leitet Kühlflüssigkeit durch den Heiz-Kühl-Block.

Die Glasapparatur besteht aus einem Flachbodengefäß mit einer Schraubkupplung, in deren Oberteil eine Filterstützscheibe mit einem PTFE-Membranfilter und einem Filterschutzring eingelegt ist. Daran angeschlossen ist das Extraktionsrohr. Den Abschluß bildet ein Stabkühler, der über einen Kugelschliff an das Extraktionsrohr angeschlossen ist.

#### Durchführung der Extraktion

Die Extraktion mit dem FexIka 200 wurde bereits in verschiedenen Publikationen (11-15) beschrieben und soll hier nur kurz skizziert werden. Das Extraktionsgut wird in das Extraktionsrohr eingewogen und dieses mit dem Basisgefäß, in dem sich ein Teil des Lösungsmittels und ein Magnetrührer befinden, verschraubt. Der Rest des Lösungsmittels wird zum Extraktionsgut gegeben. Das Extraktionsrohr wird mit dem Stabkühler verbunden. Der Prozeß kann gestartet werden.

Während der Heizphase beginnt das Lösungsmittel zu siedend. Der Dampf steigt durch Filter und Extraktionsgut auf, kondensiert am Stabkühler und tropft von dort zur Suspension aus Lösungsmittel und Extraktionsgut. Der ständig aufsteigende Lösungsmitteldampf erhitzt die Suspension und führt im Gemisch zur Blasenbildung. Der dadurch entstehende Wirbelschichteffekt ist der Grund für die Effizienz dieses Verfahrens.

Mit Beginn der Kühlphase durchströmt Kühlmittel den Kühl-Heiz-Block. Durch das rasche Abkühlen des Lösungsmittels entsteht ein Unterdruck im Basisgefäß. Die Druckdifferenz zwischen Basisgefäß und Extraktionsrohr läßt den Extrakt in das Basisgefäß zurückfließen. Der Zyklus kann von Neuen beginnen.

Für alle durchgeführten Extraktionen galten die gleichen Bedingungen. 10 g der Saat wurde gemahlen und in das Extraktionsrohr eingewogen. In das Basisgefäß wurden 120 ml Petroleumbenzin eingefüllt, in das Extraktionsrohr 60 ml. Die Parameter zur Steuerung der Extraktion wurden wie folgt eingestellt.

#### Prozeßparameter:

Anzahl der Zyklen:	7
Siedetemperatur:	140° C
Kühltemperatur:	50° C
Siededauer:	8 min (Zyklus 1); 10 min (Zyklus 2-7)
Filtrationsdauer:	10 min (Zyklus 1-7)

Nach Beendigung der Extraktion wurde das Lösungsmittel mittels eines Rotationsverdampfers abgetrennt. Der Rohfettgehalt wurde durch Auswiegen des Öls bestimmt.

## 3.2 Bestimmung der Fettsäuren und Tocopherole

Die Bestimmung der Fettsäuremuster erfolgt mittels Gaschromatographie. Fettsäuretriglyceride sind schwer flüchtig, die Gaschromatographie erfordert aber leichtflüchtige Substanzen. Ein Ausweg ist die Umesterung der Triglyceride zu Methylestern mit Trimethylsulfoniumhydroxid. (TSH). Dazu wurden 50 mg Öl in einen 5 ml Schliffkolben eingewogen und mit 5 ml n-Heptan versetzt. Dazu wurden 0,5 ml TSH-Lösung gegeben und gut durchgeschüttelt und über Nacht in den Kühlschrank gestellt. Überschüssiges Methanol setzte sich dabei am Boden des Kolbens ab. Von der klaren n-Heptanphase wurde 1 ml in den GC eingespritzt.

Für die Bestimmung der Tocopherolgehalte der Öle wurden 2 Möglichkeiten getestet. Bei der ersten wurde das Öl durch Zugabe von konzentrierter NaOH-Lösung verseift. Nach mehreren Zwischenschritten wurde der nicht verseifbare Anteil in n-Heptan aufgenommen, mit Standardlösung versetzt und analysiert. Diese Methode hat jedoch den Nachteil, daß die Ölmengen relativ groß sein müssen, damit sich Verluste bei der Aufbereitung nicht negativ auf das Ergebnis auswirken.

Die zweite Möglichkeit umgeht dieses Problem. Dazu wurden 0,5 ml Öl in 1 ml n-Heptan gelöst. Diese Lösung wurde mit 3 ml Methylierungsreagenz, 0,1 ml Standardlösung sowie 1 ml Wasser versetzt, gut geschüttelt und über Nacht in den Kühlschrank gestellt. Die Analyse der n-Heptanphase erfolgte gaschromatographisch. Der Nachteil dieser Methode besteht darin, daß mit hochkonzentrierten Lösungen gearbeitet werden muß. Dies erfordert sehr lange Ausheizzeiten bei der GC-Analyse. Die Herstellung der Lösungen ist jedoch schnell und problemlos und erlaubt ein Arbeiten mit kleinen Mengen, so daß alle in dieser Arbeit angegebenen Tocopherolbestimmungen mit dieser Methode durchgeführt wurden.

### Herstellung des Methylierungsreagenz und der Standardlösung

Eine 200 mm x 20 mm Glaspürette wurde mit einem Glaswollepropfen versehen und mit 35 ml Ionenaustauscher Amberlite IRA-420, der mit Wasser aufgeschlämmt wurde, gefüllt. Danach wurde der Ionenaustauscher mit 150 ml 4% NaOH-Lösung sowie 150 ml Wasser gewaschen, bis der Ablauf neutral reagierte. Zuletzt erfolgte noch eine Spülung mit 150 ml Methanol.

4,1 g (0,02 mol) Trimethylsulfoniumiodid wurden unter Erwärmen auf 50° C in 60 ml Methanol gelöst und in 5 bis 10 ml Portionen über den Ionenaustauscher gegeben. Zum Schluß wurde mit 60 ml Methanol nachgewaschen. Die TSH-Lösung wurde im Kühlschrank aufbewahrt.

Als Standard für die Tocopherolbestimmungen wurde Dotriacontan in Form einer Lösung von 0.2 g Dotriacontan in 100 ml n-Heptan verwendet.

### GC-Parameter

Die **GC-Analysen der Fettsäuren** wurden unter folgenden Bedingungen durchgeführt.:

GC: Sichromat; Detektor: FID; Säule: DB-WAX 60 m x 0.25 mm

Temperaturprogramm: Ofentemperatur 150°C Zeit: 5 min; Aufheizgeschwindigkeit: 10°C/min  
Ofentemperatur: 225°C; Zeit: 12 min; Aufheizgeschwindigkeit: 3°C/min  
Ofentemperatur: 250°C; Zeit: 20 min (bei Amaranth und Quinoa 30 min)  
Injektortemperatur: 250°C; Detektortemperatur: 300°C

Die **GC-Analysen der Tocopherole** wurden unter folgenden Bedingungen durchgeführt.:

GC: HP 5890 Series II; Detektor: FID; Säule: DB 17 30 m x 0.25 mm

Temperaturprogramm: Ofentemperatur 220°C Zeit: 1 min; Aufheizgeschwindigkeit: 10°C/min  
Ofentemperatur: 280°C; Zeit: 100 min

Die **GC/MS-Untersuchungen** wurden durchgeführt mit:

GC: HP 5890 Series II; MS: HP 5972 Mass Selectiv Detektor; Säule: DB 17 30 m x.25 mm

Zur Ermittlung der Retentionszeiten der Fettsäuremethylester wurden 3 verschiedene Standardlösungen der Firma ROTH ( Rotichrom FO2, Rotichrom FO3 und Rotichrom ME29) verwendet. Die Retentionszeiten der Tocopherole wurden mit einem Tocopherol-Kit der Firma Merck bestimmt.

Die Messungen wurden in regelmäßigen Abständen wiederholt. Die ermittelten Retentionszeiten nahmen innerhalb von 6 Monaten um 7,4% ab. Die Retentionszeit für  $\gamma$ -Linolensäure, Eicosadiensäure, Rizinolsäure, Laurinsäure, Caprylsäure und Caprinsäure sowie Squalen wurden aus Literaturwerten (16) bestimmt und mit GC/MS nachgeprüft.

## 4 Ergebnisse der Untersuchungen

### 4.1 Vorkommen der Fettsäuren in Pflanzenölen

Unter Fetten und fetten Ölen versteht man die Glycerinester mittlerer und höherer Monocarbonsäuren (17). Dabei ist jeweils ein Glycerinmolekül mit drei Fettsäurenmolekülen - die durchaus unterschiedlich sein können - verestert. Rein chemisch gesehen steht für diese Reaktion eine große Anzahl an Monocarbonsäuren zur Verfügung. Diese Säuren unterscheiden sich in der Länge ihres Kohlenstoffgerüsts, Anzahl und Stellung der Doppelbindungen sowie in ihrer Konfiguration (18). Fettsäuren ohne Doppelbindungen bezeichnet man als gesättigt. Das Spektrum der natürlich in Pflanzenölen und -fetten vorkommenden Fettsäuren ist jedoch beschränkt (Tab. 2).

Sämtliche Fettsäuren besitzen ein geradzahliges C-Atom-Gerüst und liegen in cis-Konfiguration vor. In tierischen Fetten können auch Fettsäuren mit ungerader C-Atom-Zahl sowie in geringen Mengen auch Fettsäuren mit trans-Konfiguration vorkommen (19). Ein Beispiel dafür ist die in Delphintran vorkommende Isovaleriansäure. Trans-Fettsäuren sind in geringer Menge in Fetten von Wiederkäuern enthalten. Sie verhalten sich im Stoffwechsel wie gesättigte Fettsäuren. Der bekannteste Vertreter ist die Elaidinsäure, eine trans-Ölsäure. Trans-Fettsäuren entstehen auch durch technische Prozesse, z.B. Härtung von Pflanzenölen. Eine weitere Gruppe von Fettsäuren, die auf tierische Fette beschränkt sind, ist die der konjugierten Fettsäuren z.B. die konjugierte Linolsäure CLA (20). CLA entsteht durch bakteriellen Fettabbau in Wiederkäuermägen.

Die Anzahl der C-Atome des Kohlenstoffgerüsts liegt für Pflanzenöle zwischen 8 und 24. In tierischen Fetten, z.B. Butter, kommen auch Fettsäuren mit weniger als 8 C-Atomen vor. Ebenfalls begrenzt ist die Zahl der Doppelbindungen. Fettsäuren mit mehr als 4 Doppelbindungen werden nur in Fischölen gefunden. Die bekanntesten Vertreter davon sind EPA (Eicosapentaensäure) und DHA (Docosahexaensäure).

Seit einiger Zeit ist es üblich, ungesättigte Fettsäuren nach der Position der ersten Doppelbindung zu bezeichnen. Man spricht dabei von Omega( $\omega$ )-3, -6 oder -9 Fettsäuren (21). Die Ziffer bezeichnet das Kohlenstoffatom mit der ersten Doppelbindung vom Methylende des Moleküls aus gesehen. Die Anzahl der Doppelbindungen spielt dabei keine Rolle.  $\omega$ -3-Fettsäuren leiten sich von der  $\alpha$ -Linolensäure,  $\omega$ -6-Fettsäuren von der Linolsäure und  $\omega$ -9-Fettsäuren von der Ölsäure ab. Ernährungsphysiologisch wichtig sind die beiden ersten Gruppen (22). Hauptlieferanten der  $\omega$ -6-Fettsäuren sind Pflanzenöle, während  $\omega$ -3-Fettsäuren vor allem in Fischen enthalten sind.

Vereinzelt kommen in Pflanzenölen auch Oxi-, Epoxi- oder Hydroxifettsäuren vor. Diese wirken jedoch in der Regel toxisch und sind für die menschliche Ernährung ungeeignet. Zwei Vertreter dieser Gruppe mit therapeutischer Wirkung sind die Rizinolsäure und die Chaumoograsäure.



Tab. 2: Übersicht über die häufigsten, natürlich vorkommenden Fettsäuren (23)

Fettsäuren	chemische Kurzform	Trivialbezeichnung	Chemische Bezeichnung
gesättigt:	C4:0	Buttersäure	Butansäure
	C6:0	Capronsäure	Hexansäure
	C8:0	Caprylsäure	Oktansäure
	C10:0	Caprinsäure	Decansäure
	C12:0	Laurinsäure	Dodecansäure
	C14:0	Myristinsäure	Tetradecansäure
	C16:0	Palmitinsäure	Hexadecansäure
	C18:0	Stearinsäure	Octadecansäure
	C20:0	Arachinsäure	Eicosansäure
	C22:0	Behensäure	Docosansäure
	C24:0	Lignocerinsäure	Tetracosansäure
	C26:0	Cerotinsäure	Hexacosansäure
einfach ungesättigt:	C14:1	Myristoleinsäure	9:10 Tetradecensäure
	C16:1	Palmitoleinsäure	9:10 Hexadecensäure
	C18:1	Ölsäure	9:10 Oktadecensäure
	C18:1	Vaccensäure	11:12 Oktadecensäure
	C18:1	Petroselinsäure	6:7 Oktadecensäure
	C20:1	Gadoleinsäure	9:10 Eicosensäure
	C20:1		11:12 Eicosensäure
	C22:1	Erucasäure	12:14 Docosensäure
	C24:1	Nervonsäure	15:16 Tetracosensäure
zweifach ungesättigt:	C18:2	Linolsäure	9:10 12:13 Octadecadiensäure
	C20:2		8:9 11:12 Eicosadiensäure
dreifach ungesättigt:	C18:3	$\alpha$ -Linolensäure	9,12,15 Octadecatriensäure
	C18:3	$\gamma$ -Linolensäure	6,9,12 Octadecatriensäure
	C20:3		8,11,14 Eicosatriensäure
	C20:3		11,14,17 Eicosatriensäure
vierfach ungesättigt:	C18:4	Stearidonsäure	6,9,12,15 Octadecateraensäure
	C20:4	Arachidonsäure	5,8,11,14 Eicosatetraensäure
	C22:4		7,10,13,16 Docosatetraensäure
fünffach ungesättigt:	C20:5	Timnodonsäure	5,8,11,14,17 Eicosapentaensäure
	C22:5	Clupanodonsäure	4,8,12,15,19 Docosapentaensäure
sechsfach ungesättigt:	C22:6	Cervonsäure	4,7,10,13,16,19 Docosahexaensäure

Bis auf Buttersäure, Capronsäure, EPA und DHA lassen sich alle aufgelisteten Fettsäuren in Pflanzenölen und -fetten finden. Fettsäuren mit mehr als 3 Doppelbindungen kommen jedoch nur in sehr geringen Mengen vor. Eine Ausnahme bildet die Stearidonsäure, deren Konzentration in Hanföl etwa 1 % beträgt.

Fette und Öle unterscheiden sich in erster Linie durch ihre Fettsäurezusammensetzung. Ein Fett mit einem hohen Anteil gesättigter Fettsäuren ist bei Raumtemperatur von fester Konsistenz. Auf Grund der Stabilität gesättigter Fettsäuren sind solche Öle relativ hoch erhitzbar und somit zum Braten und Frittieren geeignet. Die wichtigsten Vertreter in der Gruppe der gesättigten Fettsäuren in Pflanzenölen sind die Palmitin- und die Stearinsäure. Zu den Ölen, die überwiegend gesättigte Fettsäuren enthalten gehören die Kokos- und Palmkernöle aber auch viele tierische Fette.

Pflanzenöle mit einem hohen Prozentsatz an einfach ungesättigten Fettsäuren (24) sind dagegen bei Raumtemperatur flüssig. Diese Fettsäuren gelten aber noch als hinreichend stabil, so daß auch diese Öle stärker erhitzt werden können, bevor mit gravierenden Veränderungen zu rechnen ist. Ein Beispiel dafür ist Olivenöl, das zu über 70 % aus einfach ungesättigten Fettsäuren besteht. Die wichtigste Fettsäure dieser Gruppe ist die Ölsäure. Ihr wird eine Herz und Kreislauf schützende Wirkung zugeschrieben. Außerdem soll sie Verdauung und Gallenfluß positiv beeinflussen.

Selbst einfach ungesättigte Fettsäuren bewirken eine Senkung des Cholesterinspiegels. Diese Eigenschaft ist bei mehrfach ungesättigten Fettsäuren noch wesentlich ausgeprägter. Öle, deren Hauptbestandteil mehrfach ungesättigte Fettsäuren sind, z.B. Leinöl, sind ebenfalls flüssig und sollten nur kalt verwendet werden, da diese Fettsäuren chemisch instabil sind.

Für den menschlichen Organismus ist eine Zufuhr von mehrfach ungesättigten Fettsäuren unerlässlich, da sie essentiell gelten, d.h. der Körper kann sie nicht selbst produzieren. Ein Beispiel dafür ist die Linolsäure, eine zweifach ungesättigte Fettsäure. Sie ist im menschlichen Stoffwechsel besonders wichtig, da sie der Ausgangspunkt der Prostaglandinsynthese ist.

Eine wichtige Rolle dabei spielt die  $\gamma$ -Linolensäure, eine dreifach ungesättigte Fettsäure. Diese ist zwar nicht essentiell, sondern wird üblicherweise im Körper durch eine enzymatische Reaktion aus Linolsäure gebildet. Durch falsche Ernährung, Umwelteinflüsse, Krankheiten aber auch erbliche Veranlagung kann diese Reaktion gestört sein. Eine Zufuhr dieser Fettsäure über die Nahrung kann den daraus resultierenden Nachteilen Abhilfe schaffen. Allerdings enthalten nur wenige Pflanzenöle, z.B. in Hanföl diese Fettsäure in ausreichenden Mengen.

Eine weitere dreifach ungesättigte Fettsäure mit therapeutischen Eigenschaften ist die  $\alpha$ -Linolensäure. Sie wirkt entzündungshemmend, unterstützt den Reparaturmechanismus der Zellen und fördert die Fließeigenschaften des Blutes.

## 4.2 Fettsäuregehalte der einzelnen Pflanzenöle

Betrachtet man die Fettsäurezusammensetzung der Öle, so lassen sie sich in mehrere Gruppen unterteilen (Tab. 3). In gewisser Weise ist damit auch der Speisewert dieser Öle charakterisiert. Hauptkriterien sind die Gehalte an mehrfach ungesättigten Fettsäuren, an Ölsäure oder sonstigen Fettsäuren bzw. deren Verhältnisse zueinander, ausgedrückt im P/S-Quotienten ( $P/S = \text{polyunsaturated/saturated-ratio}$ ). Grundsätzlich gilt, daß der Speisewert eines Öles um so besser ist, je höher dieser Wert liegt. Allerdings sehen die Referenzwerte der DGE ein Verhältnis von 30:40:30 (gesättigt, einfach ungesättigt, mehrfach ungesättigt) in der Gesamtnahrung als ideal an. Im Falle eines starken Fettverzehrs in Form tierischer Fette (ohne Seefische) ist es daher sinnvoll, Pflanzenöle mit hohen Gehalten an mehrfach ungesättigten Fettsäuren ergänzend aufzunehmen.

Tab. 3: Einteilung der Pflanzenöle aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung

Gruppe	Prädikat	Pflanzenart	P/S-Quotient
1	Öle mit sehr hohem Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren (über 65 %), Ölsäure unter 20 %; meist gute Speiseöle	Distel, Sonnenblumen (normal), Hanf, Wildrosen, Tabak, Königskerzen, Mohn, Leinsamen, Nachtkerzen, Walnuß	> 5.5
2	Öle mit hohem Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren (50-65 %), teilweise mit höheren Gehalten an Ölsäure (15-30%)	Traubenkern, Schwarzkümmel, Borretsch, Kürbiskern, Soja, Weizenkeime	3.8 - 5.5
3	Öle mit hohen Gehalten an Ölsäure (40-75 %); teilweise geringe Gehalte an mehrfach ungesättigten Fettsäuren (unter 40 %),	Raps, Haselnuß, Erdnuß, Aprikosenkern, Mandel, Sonnenblumen (high-oleic), Pistazien	2.2 - 3.8
4	Spezialöle mit wenig gesättigten Fettsäuren (unter 15 %), meist höhere Anteile an Ölsäure, gelegentlich höhere Anteile an seltenen Fettsäuren	Oliven, Macadamia, Avocado, Sanddorn	< 1
5	Getreidearten; mittlere Gehalte an Ölsäure (20-40 %), hohe Gehalte an Linolsäure (40-60 %)	Sesam, Weizen, Hafer, Mais, Amaranth, Quinoa	2 -4
6	Sonderöle mit hohen Gehalte an seltenen Fettsäuren	Kokos, Rizinus, Lorbeer	entfällt

### 4.2.1 Öle mit sehr hohen Gehalten an mehrfach ungesättigten Fettsäuren

Zu ersten Gruppe zählen Pflanzenöle, deren Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren sehr groß ist (über 65 %); die Hauptkomponenten sind Linolsäure bzw. im Falle von Lein- und mit Einschränkung auch Wildrosen - die  $\alpha$ -Linolensäure (Tab. 4). Folglich liegt der Anteil an Ölsäure unter 20 %. Die gesättigten Fettsäuren machen etwa 10 % aus, überwiegend als Palmitinsäure. Der P/S-Quotient liegt deutlich über 5,0 mit einem Extremwert von über 11 (Wildrosen) wegen eines sehr geringen Anteiles an gesättigten Fettsäuren.

**Tab. 4: Fettsäurezusammensetzung verschiedener Pflanzenöle - Speiseöle mit sehr hohem Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren**

Pflanzenarten	Färberdistel	Sonnenblumen *)	Wildrosen	Tabak	Königskerze	Mohn 1998	Mohn 1999	Nachtkerze	Walnuß
Qualität	kaltgepr.	kaltgepr.	kaltgepr.	Körner	Körner	kaltgepr.	kaltgepr.	kaltgepr.	kaltgepr.
Myristinsäure	0,1	0,1						0,1	
Palmitinsäure	6,9	6,2	4,2	8,6	5,5	10,3	11,6	7,0	7,8
Palmitoleinsäure	0,1	0,1		0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Stearinsäure	2,1	5,0	2,0	2,7	3,0	2,0	1,4	1,9	2,5
Ölsäure	10,4	19,9	15,3	10,0	16,3	13,2	11,8	7,2	14,9
Vaccensäure	0,8	0,6	0,8	0,6	0,7	1,1	1,8	0,8	1,1
Linolsäure	79,0	66,8	46,2	76,5	72,9	72,4	72,6	71,1	62,0
$\alpha$ -Linolensäure	0,1	0,1	33,6	1,1	0,8	0,8	0,7	0,2	10,6
$\gamma$ -Linolensäure								10,4	
Arachinsäure	0,3	0,3	0,8	0,2	0,5	0,1	0,1	0,3	0,1
<sup>11</sup> -Eicosensäure		0,1	0,4	0,1	0,2		0,2	0,5	0,3
Eicosadiensäure								0,1	
Behensäure	0,2	0,7		0,1	0,3			0,1	
Erucasäure								0,2	
Lignocerinsäure								0,1	
gesättigte Fettsäuren	9,5	12,3	7,0	11,6	9,3	12,4	13,1	9,4	10,4
einfach ungesättigte	11,3	20,7	16,5	10,8	16,9	14,4	14,0	8,9	16,4
mehrfach ungesättigte	79,1	66,9	79,8	77,6	73,7	73,2	73,3	81,8	72,6
P/S-Wert*	8,3	5,4	11,4	6,7	7,9	5,9	5,6	8,7	7,0

\*) herkömmliche Sorten, nicht Sorten der Gruppe der „High-oleic“ (HO)

### Distelöl (Färberdistel)

Distelöl zählt mit zu den hochwertigsten Ölen in der menschlichen Ernährung; es weist im Vergleich mit anderen Pflanzenölen den höchsten Anteil an Linolsäure (fast 80 %) auf, ein Vorteil bei der Synthese von Prostaglandin. Der Anteil der gesättigten Fettsäuren liegt unter 10 %. Das führt dazu, daß der P/S-Wert mit 8.3 vergleichsweise sehr hoch ist. Nur Wildrose und Nachtkerze liegen in diesem Kriterium höher; beide können aber nicht als „übliche Speiseöle“ bezeichnet werden. Aufgrund dieser Zusammensetzung eignet sich Distelöl auch als Grundstoff für kosmetische Produkte und Diätmargarine. Das Öl ist trotz seines hohen Gehalts an Linolsäure sehr stabil.

Untersucht wurden zwei übliche Handelsöle, von denen eines auffällig von den aus der Literatur erwarteten Werten abwich; es glich in seiner Zusammensetzung eher einem Olivenöl. In beiden Fällen handelte es sich um blaßgelbe, dünnflüssige Öle von neutralem Geschmack. Da es sich bei dieser Probe vermutlich nicht um Distelöl handelte, wurde auf eine Darstellung der gefundenen Werte verzichtet.

## Sonnenblumenöl

Sonnenblumenöl muß grundsätzlich in zwei Arten von Sorten unterschieden werden: „traditionelle“ Sorten und „hig-oleic“ Sorten. In der heimischen Küche wird in der Regel Öl von traditionellen Sorten verwendet. Es ist von hellgelber Farbe und hat im naturbelassenen Zustand einen leichten Nußgeschmack. Die dargestellte Zusammensetzung des Sonnenblumenöls (Tab. 4) umfaßt das Mittel von 15 aktuellen Sorten; die Schwankungsbereiche zwischen den Sorten sind gering. Hauptkomponenten sind die Linolsäure mit etwa 65 %, Ölsäure mit 20 % und gesättigte Fettsäuren mit 11 %. Der Gehalt an Stearinsäure ist mit 5 % vergleichsweise hoch; Sonnenblumenöl gilt deshalb als gut haltbar. Der Gehalt an Behensäure ist mit 0,7 % ebenfalls sehr hoch. Öl von „HO-Sorten“ enthält mit über 80 % so viel Ölsäure wie keine andere Pflanzenart.

## Wildrosenöl, Tabaksamenöl, Königskerzenöl

Wertvolle Öle lassen sich aus einer Reihe von Wildpflanzen gewinnen, allerdings kann man sie nicht als „reguläres Speiseöl“ in der Küche bezeichnen. Dafür sind die Aufwendungen wegen der geringen Erträge und geringen Ausbeuten oftmals zu hoch. Diese Öle wären schlechthin nicht zu bezahlen, was allerdings nicht für den Einsatz in der Körperpflege oder zu therapeutischen Zwecken gilt. Ein Beispiel dafür ist das Öl der Königskerze; es enthält 72,9 % Linolsäure und reiht sich damit in die Gruppe der hochwertigen Öle ein; praktische Bedeutung hat es jedoch nicht. Gleiches gilt für Tabaksamen- und Wildrosenöl.

Aus den Samen der „Rosa Mosqueta“ wird ein wertvolles Öl hergestellt; es ist auch unter der Bezeichnung „Hagebuttenöl“ bekannt. Das kaltgepreßte Öl ist von bräunlicher Färbung, das raffinierte Öl ist farblos. Sein hoher Gehalt an  $\alpha$ -Linolensäure (33 %) wirkt sehr günstig auf die Regeneration der Haut. Zur Untersuchung wurde ein schonend raffiniertes Öl aus dem Handel benutzt (Tab. 4). Es enthält 46 % Linolsäure und 33,6 %  $\alpha$ -Linolensäure. Auch aus den Samen der Tabakpflanze läßt sich ein Öl extrahieren. Seine Zusammensetzung (über 75 % Linolsäure) weist es als besonders wertvolles Öl aus. Sein typischer Geschmack macht es für die menschliche Ernährung jedoch nicht empfehlenswert.

## Mohnöl

Mohnöl hingegen könnte durchaus eine praktische Bedeutung erreichen. Die Erträge an Mohnkörnern liegen bei etwa zwei t/ha, mit einem Ölgehalt von über 40 % und guter Ausbeute beim Kaltpressen. Es handelt sich um ein hochwertiges Speiseöl von hellgelber Farbe und leicht süßlicher Geschmack; letzterer macht es besonders für Süßspeisen verwendbar. Die Zusammensetzung an Fettsäure weist Ähnlichkeiten mit Sonnenblumenöl auf, allerdings mit sehr hohem Gehalt an Palmitin- und sehr geringem Gehalt an Stearin-

säure. Die beiden aus verschiedenen Anbaujahren untersuchten Proben unterscheiden sich in der Zusammensetzung nicht.

### Nachtkerzenöl

Ein weiteres Öl, das sehr hohe Gehalte an  $\gamma$ -Linolensäure (10 %) und Linolsäure (71 %) aufweist, ist das Nachtkerzenöl (49). Dieses farb- und geruchlose Öl wird aus den Samen der Nachtkerze gewonnen. Es enthält zwar nur etwa halb so viel  $\gamma$ -Linolensäure wie Borretschöl, besitzt aber dessen Nachteile nicht. Das Öl entspricht in Wirkung und Anwendung dem Borretschöl. Nachtkerzenöl ist im Handel erhältlich. Es besteht zu über 70% aus Linolsäure, der Anteil an Stearinsäure ist mit weniger als 2 % gering.

### Walnußöl

Unter den Nußölen nimmt Walnußöl eine Sonderstellung ein. Das hellgelbe Öl mit ausgeprägtem Nußgeschmack enthält 62 % Linolsäure sowie über 10 %  $\alpha$ -Linolensäure. Daneben enthält es die Vitamine A, B und E sowie Lecithin und Phosphor in größeren Mengen. Das Öl findet in erster Linie in der Küche Verwendung. Es sind aber auch technische Anwendungen bekannt, z. B. Imprägnieren von Holz.

### Leinöl (Tab. 4 Fortsetzung)

Leinöl findet zwar auch als Speiseöl Verwendung, ist jedoch als Rohstoff in der Industrie weitaus bekannter. Es dient zur Herstellung von Ölfarben und zum Beizen von Holz. Das Öl selbst hat eine gelbe Farbe und schmeckt leicht bitter. Es verharzt sehr schnell. Grund dafür ist seine chemische Zusammensetzung. Leinöl enthält über 50%  $\alpha$ -Linolensäure und nimmt in diesem Kriterium die absolute Spitzenstellung aller Öle ein.

Die Fettsäurebestimmungen (Tab. 4 Forts.) wurden mit Ölen durchgeführt, die aus handelsüblichen Körnern der Erntejahre 1999 und 2000 extrahiert wurden. Die Abweichungen der Fettsäuremuster voneinander sind minimal.

### Hanföl

Seit dem Ende des Anbauverbots von Hanf in Deutschland wird zunehmend wieder Hanföl verkauft; es gibt im Zusammenhang mit der Fasernutzung des Hanfes sogar ernsthafte Bemühungen, einen regulären Markt für Hanfkörner bzw. Hanföl aufzubauen.

Das Öl ist von hell- bis dunkelgrüner Farbe (je nach Reifezeitpunkt der Körner zur Ernte) und hat einen starken nussigen Eigengeschmack, was allerdings nicht jedermanns Zustimmung findet. Es enthält einen hohen Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren, darunter bis zu 18 %  $\alpha$ -Linolensäure, bis zu 4 %  $\gamma$ -Linolensäure und 50 - 55 % Linolsäure (42-44).

**Tab. 4: Fettsäurezusammensetzung verschiedener Pflanzenöle - Speiseöle mit sehr hohem Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren (Fortsetzung)**

Pflanzenarten	Lein		Hanf: Analyse der Körner			Hanf: kaltgepresstes Öl		
Sorte bzw. Jahrgang	Ernte 1999	Ernte 2000	Fasamo 1997	Felina 1998	Fedora 1999	Fasama 1999	Biolabr. 1999	Marke Rapunzel
Qualität	Körner	Körner	Körner	Körner	Körner	kaltgepr.	Körner	kaltgepr.
Myristinsäure	0,1	0,1						
Palmitinsäure	5,9	6,5	5,6	6,4	6,8	6,9	6,8	6,6
Pamitoleinsäure	0,1	0,1		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Stearinsäure	4,3	5,3	2,5	2,8	2,6	2,4	2,2	2,4
Ölsäure	21,0	19,0	10,5	10,8	11,2	9,4	10,2	10,4
Vaccensäure	0,7	1,1	0,7	0,8	1,0	0,9	1,5	0,5
Linolsäure	13,1	13,3	56,4	56,2	57,1	54,5	56,6	57,8
$\alpha$ -Linolensäure	54,3	54,5	18,9	17,7	16,5	19,3	18,3	17,4
$\gamma$ -Linolensäure			2,7	2,6	2,7	3,3	2,8	2,5
Arachinsäure	0,2	0,2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,4
<sup>11</sup> -Eicosensäure	0,2	0,1	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,2
Behensäure	0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2
gesättigte Fettsäuren	10,8	12,2	9,2	10,3	10,5	10,5	9,8	9,9
einfach ungesättigte Fettsäuren	22,1	20,3	11,6	12,1	12,6	10,8	12,1	11,6
mehrf. ungesättigte Fettsäuren	67,4	67,8	78,0	76,5	76,5	77,1	77,7	77,7
P/S-Wert	6,2	5,6	8,5	7,4	7,3	7,3	7,9	7,9

Die Ergebnisse der Fettsäureanalyse von Hanföl sind in Tab. 4 zusammengefaßt. Dabei ist zu unterscheiden in Proben, bei denen die Bestimmung aus den gemahlene Körnern direkt erfolgte bzw. solchen Proben, bei denen das regulär gewonnene Öl untersucht wurde. Die Ergebnisse der Jahre 1997 und 1998 stellen die Mittelwerte von Sortenversuchen (10 Sorten) dar. Die Fettsäureverteilung blieb über die Jahre hin weitgehend konstant, auch das Gewinnungsverfahren, die Sorte und der Herkunftsort sind von geringer Bedeutung. Der Grund für diese „stabile“ Ölzusammensetzung dürfte sein, daß bisherige Züchtungsbemühungen nie auf die Gehalte an Fettsäuren Rücksicht genommen haben, wie wohl das auch für andere Pflanzenarten gilt (Ausnahme: Sonnenblumen).

#### 4.2.2 Öle mit hohen Gehalten an mehrfach ungesättigten Fettsäuren, teilweise mit höheren Gehalten an Ölsäure

In dieser Gruppe sind Öle zusammengefaßt, die nicht mehr die extrem hohen Gehalte an mehrfach ungesättigten Fettsäuren aus der ersten Gruppe aufweisen, dafür aber höhere Anteile an Ölsäure haben. Die Anteile an gesättigten Fettsäuren sind ebenfalls deutlich höher. Es handelt sich durchwegs um weniger bekannte Speiseöle, vielmehr sind es solche mit einer speziellen Nutzung.

##### Traubenkernöl

Aus den Rückständen der Traubenkelterung (Kerne) läßt sich ein hochwertiges Speiseöl gewinnen, das aber wegen seines aufwendigen und teuren Herstellungsverfahrens bevorzugt nur in der einschlägigen Gastronomie Verwendung findet. Der Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren ist mit 63 % noch sehr hoch; der Gehalt an Ölsäure ist mit 25 % aber deutlich höher als bei den vorgenannten Ölen.

Tab. 5: Fettsäurezusammensetzung verschiedener Pflanzenöle - Speiseöle mit hohem Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren

Pflanzenarten	Trauben- kern	Schwarz- kümmel	Borretsch	Kürbis- kern	Soja	Weizen- keim
Qualität	kaltgepr.	Körner	kaltgepr.	Körner	kaltgepr.	kaltgepr.
Myristinsäure	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	
Palmitinsäure	7,3	12,8	11,1	12,0	11,7	17,9
Palmitoleinsäure	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	
Stearinsäure	3,3	2,5	3,7	5,1	3,9	0,6
Ölsäure	24,8	20,4	16,6	31,8	20,0	15,9
Vaccensäure	1,3	1,1	0,7	1,3	1,6	1,2
Linolsäure	63,0	59,2	37,5	48,6	55,2	56,8
$\alpha$ -Linolensäure	0,2	0,3	0,2	0,1	6,2	6,2
$\gamma$ -Linolensäure			21,1			
Arachinsäure	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3	
<sup>11</sup> -Eicosensäure	0,3	0,4	3,9	0,1	0,2	1,5
Eicosadiensäure		2,9	0,3			
Behensäure			0,2	0,3	0,3	
Erucasäure			2,5			
Nervonsäure			1,6			
gesättigte Fettsäuren	10,9	15,7	15,4	17,9	16,2	18,5
einfach ungesättigt	26,5	22,2	25,5	33,3	21,9	18,6
mehrfach ungesättigt	63,2	62,4	59,1	48,7	61,4	63,0
P/S-Wert*	5,8	4,0	3,8	2,7	3,8	3,4



## Schwarzkümmelöl

Schwarzkümmelöl war bereits den alten Ägyptern bekannt. Das Öl ist dickflüssig, von goldgelber Farbe und hat einen starken Eigengeschmack. Es enthält neben 60 % Linolsäure und 20 % Ölsäure auch nennenswerte Anteile an seltenen Fettsäuren, darunter 2.0 % Eicosensäure, 1.1 % Vaccensäure und 1.0 % Arachinsäure. Weiterhin enthält es Fettbegleitstoffe wie Vitamin E, Phytosterinen und bis zu 1,5 % etherische Öle; das bekannteste davon ist Nigellon.

Die Fettsäurezusammensetzung von Schwarzkümmelöl wurde aus Ölen bestimmt, die aus türkischen Schwarzkümmelsamen extrahiert wurden. Das Verhältnis von Öl- zu Linolsäure beträgt 1:3. Von der seltenen mehrfach ungesättigten Eicosadiensäure, wurden bis zu 2,9 % gefunden.

## Kürbiskernöl

Das im Handel erhältliche Kürbiskernöl wird aus den Kernen des Ölkürbis (46) gewonnen, bekannt aus der Schwerpunktnutzung in der Steiermark. Es ist ein dunkelgrünes, dickflüssiges Öl mit einem intensiven Eigengeschmack, das bis zu 4 % Fettbegleitstoffe, darunter auch Chlorophyll, enthält. Um diese Inhaltsstoffe nicht zu zerstören, sollte es nur kalt verwendet werden. Das untersuchte Kürbisöl wurde direkt aus Kürbiskernen extrahiert. Es enthält knapp 50 % Linolsäure, über 30 % Ölsäure, aber auch 18 % gesättigte Fettsäuren, vor allem Palmitinsäure.

## Borretschsamenöl

Borretschöl wird aus den Samen des Borretsch, einer Gewürzpflanze gewonnen. Es wird ausschließlich als therapeutisches Öl angewandt, da es mit etwa 20%  $\gamma$ -Linolensäure einen extrem hohen Gehalt dieser seltenen Fettsäure aufweist. Folglich sind die andern Ölsäuren in vergleichsweise geringen Mengen enthalten: Linolsäure unter 40 %, Ölsäure unter 20 %. Nachteilig wirkt sich der relativ hohe Anteil an Erucasäure (2.5 %) und Nervensäure (1.6 %) aus, ebenso die Tatsache, daß noch nicht alle Inhaltsstoffe genau bekannt sind. Die Untersuchungen wurden mit Borretschöl aus dem Handel durchgeführt.

## Sojaöl

Sojaöl ist das am meisten produzierte Öl der Welt. Es wird als Speiseöl genutzt, findet aber auch Anwendung in der Nahrungsmittelindustrie z.B. bei der Herstellung von Margarine oder Süßwaren. Naturbelassenes Sojaöl enthält einen hohen Lezithingehalt (bis zu 4%). Ebenfalls in Sojaöl enthalten sind Phytosterine, davon etwa 60%  $\beta$ -Sistosterin. Sojaöl gehört auch zu den wenigen Ölen, die größere Mengen an  $\alpha$ -Linolensäure enthalten.

## Weizenkeimöl

Aus den Keimlingen der Weizenkörner, die bei der Herstellung von Mehl entfernt werden, um eine bessere Haltbarkeit zu gewährleisten, kann Weizenkeimöl gewonnen werden. Naturbelassenes Öl ist von rötlicher Farbe und hat einen für Getreide charakteristischen Geschmack. Das Öl enthält neben knapp 60 % Linolsäure noch einen beträchtlichen Anteil an  $\alpha$ -Linolensäure (6,2 %). Ein Nachteil ist allerdings der hohe Anteil an gesättigten Fettsäuren (18,5 %), der - mit Ausnahme von Kokosöl - am höchsten unter allen Pflanzenölen ist. Allerdings gehört Weizen nicht zu den klassischen Ölpflanzen, was seine Sonderstellung in der Zusammensetzung verständlich macht.

### 4.2.3 Öle mit hohen Gehalten an Ölsäure, teilweise geringen Gehalten an mehrfach ungesättigten Fettsäuren

In dieser Gruppe sind mit Raps, Sonnenblumen (ho) und Erdnuß solche Arten erfaßt, deren Öle häufig und in großen Mengen genutzt werden. Sie zeichnen sich durch hohe Anteile an Ölsäure (über 40 %) und besonders geringe Gehalte an gesättigten Fettsäuren aus. Ergänzt wird diese Gruppe durch einige andere, weniger bekannte Ölarten.

## Rapsöl

Die Bedeutung von Rapsöl lag lange Zeit in seiner technischen Verwendung. Es wird auch heute noch als Hydrauliköl eingesetzt und zu Biodiesel verarbeitet. Aber seit der Züchtung der erucasäurefreien Sorten findet es auch als hochwertiges Speiseöl in der Küche Verwendung und stellt eine gute Alternative zu Olivenöl dar (34,35). Charakteristisch ist ein Anteil von 60 % Ölsäure, der nur noch von wenigen Spezialölen (Aprikosen, Mandel, Haselnuß) übertroffen wird und 20 % Linolsäure. Rapsöl besitzt von allen herkömmlichen Speiseölen den geringsten Anteil gesättigter Fettsäuren. Ein weiterer Vorteil ist sein hoher Anteil an  $\alpha$ -Linolensäure von 9 %. Neben Vitamin E ist auch das für die Blutgerinnung wichtige Vitamin K sowie Provitamin A enthalten. Die genannten Daten von Rapsöl (Tab. 6) setzen sich aus 16 Einzelwerten verschiedener Rapsorten zusammen. Einzeldaten sind im IfPP SH 1/2000 der LAP Forchheim (10) enthalten.

## Sonnenblumen (HO)

Deutlich anders hingegen ist die Zusammensetzung des Öls der neuen, sog. „high-oleic-Sorten“ (41). Sie gleichen in der Zusammensetzung dem Olivenöl, sind hoch erhitzbar und somit ideal zum Braten und Frittieren. High-oleic-Sorten wurden speziell zur industriellen Nutzung der Sonnenblumen als Speiseöl und als Rohstoff für Kosmetika gezüchtet.

## Erdnußöl

In Deutschland ist reines Erdnußöl als Speiseöl nicht sehr bekannt. Erdnußöl ist ein klares, farbloses Öl mit leichtem Erdnußgeschmack. Viele Fettbegleitstoffe, darunter Vitamine und Mineralstoffe sowie sein ausgewogenes Verhältnis zwischen Öl- und Linolsäure machen es zu einem ernährungsphysiologisch wertvollem Speiseöl.

Der Gesamttocopherolgehalt des Öls liegt bei 38,3 mg/100ml. Davon entfallen 2/3 auf das biologisch aktive  $\alpha$ -Tocopherol, der Rest auf  $\gamma$ -Tocopherol. Bemerkenswert ist auch die Fettsäurezusammensetzung. Die Gehalte an Öl- und Linolsäure unterscheiden sich nur um etwa 3%. Das Öl enthält über 5% Fettsäuren mit mehr als 18 C-Atomen, der überwiegende Teil davon liegt als gesättigte Fettsäuren vor. Dies hat zur Folge, daß Erdnußöl bei Temperaturen unter 13°C fest wird.

Tab. 6: Fettsäurezusammensetzung verschiedener Pflanzenöle - Speiseöle mit hohem Anteil an einfach ungesättigten Fettsäuren

Pflanzenarten	Raps	Haselnuß		Erdnuß	Apriko- senkern	Mandel		Sonnen- blumen	Pistazie
		Spinnraps	Baum- hasel			Spinnraps	Brändle	high oleic	
Qualität	kaltgepr.	kaltgepr.	Körner	kaltgepr.	kaltgepr.	kaltgepr.	kaltgepr.	kaltgepr.	kaltgepr.
Myristinsäure	0,1								0,1
Palmitinsäure	4,7	5,2	6,2	10,0	5,4	6,7	5,7	3,5	11,5
Palmitoleinsäure	0,2	0,2	0,3	0,1	0,7	0,4	0,1	0,1	0,8
Stearinsäure	1,6	2,0	1,5	1,8	0,8	1,7	2,2	4,4	0,9
Ölsäure	58,8	77,1	72,9	41,5	62,3	66,4	67,3	84,4	52,2
Vaccensäure	3,5	1,3	2,8	1,4	3,2	2,7	2,7	0,6	4,5
Linolsäure	19,6	13,9	16,7	38,4	27,4	21,6	21,6	5,0	29,2
$\alpha$ -Linolensäure	9,2	0,1		0,4				0,1	0,6
Arachinsäure	0,6	0,1		0,9		0,1	0,1	0,4	0,1
<sup>11</sup> -Eicosensäure	1,3	0,2	0,3	1,6	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
Behensäure	0,3			2,4		0,1	0,1	0,3	0,1
Erucasäure	0,7	0,2		0,2					
Lignocerinsäure				1,3					
gesättigte Fettsäuren	7,3	7,3	7,7	16,4	6,4	8,5	8,1	8,6	12,7
einfach ungesättigt	64,5	79,0	76,3	44,8	66,2	69,5	70,2	85,3	57,7
mehrfach ungesättigt	28,8	14,0	16,7	38,8	27,4	21,6	21,6	5,1	29,8
P/S-Wert*	3,9	1,9	2,2	2,4	4,3	2,5	2,7	0,6	2,4

## Haselnußöl

Aus den Nüssen des Haselnußstrauches läßt sich ein wohlschmeckendes Öl herstellen. Es hat eine leicht gelbliche Farbe und schmeckt schwach nach Haselnüssen. Bei einer im

Handel erhältlichen Variante des Öls werden die Nüsse vorher geröstet um des Geschmack zu intensivieren. Mit einem Ölsäuregehalt von über 75% liegt es fast im Bereich der Öle aus HO-Sonnenblumen und wie diese lässt es sich erhitzen. Außer in der Küche findet dieses Öl auch im kosmetischen Bereich Anwendung. Es enthält eine beträchtliche Menge Vitamin E, sowie Vitamine der B-Gruppe, Spurenelemente und Enzyme.

Zur Bestimmung der Inhaltsstoffe (Tab. 6) wurden zwei unterschiedliche Öle verwendet. Ein Öl wurde fertig gekauft, das andere aus frischen Nüssen extrahiert. Für beide Öle wurde neben der Fettsäurezusammensetzung auch der Tocopherolgehalt bestimmt.

### Mandelöl

Bei Mandelöl sollte man sich immer vergewissern, ob man Öl erhält, das aus Süßmandeln gepreßt wurde. Bittermandelöl darf nur äußerlich angewendet oder in kleinsten Mengen der Nahrung zugesetzt werden. Die Farbe des Öls variiert von farblos bis gelb, sein Geschmack erinnert deutlich an Mandeln. Der Ölsäureanteil beträgt 66,9%. Es enthält die Vitamine A, B und E, sowie viele Mineralstoffe (36). In der Küche eignet es sich wegen seines Mandelaromas auch für Süßspeisen. Als Naturheilmittel hilft es bei Magenbeschwerden, Verschleimung der Bronchien und Appetitmangel. Besonderer Bedeutung kommt seiner Verwendung in der Kosmetik zu. Es wirkt reizlindernd und eignet sich deshalb zur Herstellung von Pflegeprodukten für empfindliche Haut.

Zur Bestimmung der Fettsäuremuster und Tocopherolgehalte wurden zwei unterschiedliche, im Handel erhältliche Öle benutzt. In den Untersuchungen zeigen sich gute Übereinstimmung der Fettsäuremuster (Tab. 6) sowie der  $\alpha$ -Tocopherolmengen (Tab. 21), für  $\gamma$ -Tocopherol sind dagegen Unterschiede zu erkennen.

### Aprikosenkernöl

Ein Öl, das dem Mandelöl in Zusammensetzung und Gebrauch sehr nahe kommt, ist das Aprikosenkernöl (37). Das Öl wird aus dem Inneren von Aprikosenkernen hergestellt, es hat eine hellgelbe Farbe und einen leichten Marzipangeschmack. Einen Unterschied zu Mandelöl ergab die Bestimmung der Tocopherolmenge (Tab. 21). Es wurde nur  $\gamma$ -Tocopherol gefunden.

### Pistazienkernöl

Pistaziekernöl ist ein weiteres Öl, das mit Mandelöl zu vergleichen ist. Das hellgrüne Öl schmeckt deutlich nach Pistazien. Es wird in der Kosmetik bestimmten Nagelpflegeprodukten zugesetzt. Das Öl enthält nur wenig Tocopherol dafür aber wichtige Mineralstoffe. Es besitzt allerdings von den drei Ölen den höchsten Anteil an gesättigten Fettsäuren, vor allem der Palmitinsäure (11,5%).

#### 4.2.4 Spezielle Öle mit wenig mehrfach ungesättigten Fettsäuren, teilweise Höhere Gehalte an Ölsäure oder besonderen Fettsäuren

##### Olivenöl

Das älteste in Europa bekannte Öl ist Olivenöl (33). Es wurde bereits in der Antike verwendet und ist heute noch im ganzen Mittelmeerraum verbreitet. Es findet sowohl als Speiseöl als auch als Grundstoff für Kosmetik und als Naturheilmittel Verwendung. Das Öl selbst ist dickflüssig, von gelber bis dunkelgrüner Farbe und hat einen charakteristischen Geschmack. Gepreßt wird es in der Regel aus ganzen Früchten mit Kern, wobei zu beachten ist, daß sich Kern und Fruchtfleisch in der Fettsäurezusammensetzung unterscheiden. Es ist das einzige Öl für das es in Europa einheitliche Bestimmungen zur Bezeichnung gibt.

Für die durchgeführten Untersuchungen lagen zwei im Handel erhältliche Öle der Marken „Spar“ und „Dante“ vor, sowie ein Öl aus einer italienischen Genossenschaft und zwei Öle aus einem türkischen Familienbetrieb. Eines der türkischen Öle war ohne Kerne mit Hilfe einer alten Steinpresse gewonnen worden. Tabelle 7 enthält die Daten für die Fettsäuregehalte.

Tab. 7: Fettsäurezusammensetzung verschiedener Pflanzenöle - Speiseöle mit hohem Anteil an einfach ungesättigten Fettsäuren

Pflanzenarten	Oliven	Oliven	Oliven	Oliven „gepreßt“	Oliven ohne Kerne	Avocado	Sanddorn
Herkunft Bezeichnung	Spar	Dante	Italien	Türkei	Türkei		
Qualität	kaltgepr.	Kaltgepr.	Kaltgepr.	Kaltgepr.	Kaltgepr.	Kaltgepr.	Kaltgepr.
Myristinsäure	0,2						0,1
Palmitinsäure	12,4	11,3	14,8	13,8	11,0	20,4	19,5
Palmitoleinsäure	0,9	0,7	1,2	0,6	0,3	9,8	10,5
Stearinsäure	2,4	0,3	1,8	2,4	3,0	0,4	0,7
Ölsäure	67,4	73,5	68,7	64,8	49,9	49,9	49,8
Vaccensäure	3,8	4,2	4,1	3,5	3,1	6,8	6,5
Linolsäure	11,3	6,0	8,0	12,1	31,5	12,0	11,3
$\alpha$ -Linolensäure	0,5	0,5	0,4	0,5	0,2	0,4	1,1
Arachinsäure	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,1	0,1
<sup>11</sup> -Eicosensäure	0,3	0,2	0,2		0,1	0,1	0,2
Behensäure	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2		0,1
Squalen	0,5	0,5	0,7	3,0	0,2		
gesättigte Fettsäuren	15,4	12,1	17,0	15,8	17,0	20,9	20,5
einfach ungesättigt	72,4	78,6	74,2	68,8	74,2	66,6	67,0
mehrfach ungesättigt	11,8	6,5	8,4	12,6	8,4	12,4	12,4
P/S-Wert*	0,8	0,5	0,5	0,8	0,5	0,6	0,6

Es zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den beiden türkischen Ölen. Das Öl aus reinem Fruchtfleisch weist einen wesentlich höheren Linolsäuregehalt auf und der Ölsäureanteil sinkt, untypisch für Olivenöl, unter 50%. Auch bei den anderen 4 Ölen zeigen sich große Abweichungen im Linolsäuregehalt (etwa 50%), die Unterschiede in der Ölsäurekonzentration betragen bis zu 12 %. Auffällig sind die Ähnlichkeiten zwischen dem Öl der Firma Spar und dem türkischen, auf herkömmliche Art hergestelltem Öl, sowie dem Öl der Firma Dante und dem italienischen Öl. In beiden Fällen ähneln sich die Konzentrationen von Linol-, Stearin- und Vaccensäure sowie die P/S-Werte.

Der  $\alpha$ -Tocopherolgehalt des aus Fruchtfleisch gewonnenen Öls (Tab. 21) liegt bei 14,3 mg/100 g Öl, die  $\alpha$ -Tocopherolgehalte der 4 anderen Olivenöle zwischen 11,1 mg/ 100 g Öl für das Öl der Handelskette Spar und 13,4 mg/ 100 g Öl für das italienische Öl. In beiden türkischen Ölen ist außerdem noch d-Tocopherol enthalten. Der in der Literatur angegebene Tocopherolgehalt für Olivenöl beträgt 12 mg/100 g Öl.

### Macadmianußöl

Ein weiteres im Handel befindliches Nußöl ist Macadamianußöl. Dieses Öl besitzt eine hellgelbe Farbe und einen dezenten Nußgeschmack. Auf Grund seiner chemischen Zusammensetzung ist es eine Besonderheit. Es enthält knapp 20 % Palmitoleinsäure, eine einfach ungesättigte Fettsäure, die fast nur in tierischen Fetten in nennenswerten Mengen zu finden ist. Bei Pflanzen liegt der Palmitoleinsäureanteil bis auf wenige Ausnahmen unter 0,5%. Dieser hohe Palmitoleinsäureanteil macht dieses Öl besonders hautverträglich. Das Öl enthält zudem die Vitamine A, B und E. Das Öl verfügt auch über einen natürlichen Lichtschuttfaktor. Es läßt sich deshalb nicht nur in der Küche sondern auch zur Herstellung kosmetischer Produkte verwenden.

Zur Bestimmung der Fettsäuremuster und Tocopherolgehalte wurden zwei unterschiedliche, im Handel erhältliche Öle benutzt. Auch in diesem Fall zeigt sich eine gute Übereinstimmung der Fettsäuremuster. An Tocopherol wurde nur  $\gamma$ -Tocopherol gefunden.

### Avocadoöl

Eines der besten Hautpflegemittel ist Avocadoöl (38). Wie bei Macadamiaöl liegt sein Gehalt an Palmitoleinsäure weit über den bei Pflanzenölen üblichen Wert. Eine weitere Gemeinsamkeit mit diesem Öl besteht darin, daß auch Avocadoöl einen natürlichen Lichtschuttfaktor besitzt. Weitere Bestandteile sind die Vitamine A, E, D, B1 und B2, Lecithin, Carotinoide und Phytosterine. Der  $\alpha$ -Tocopherolgehalt beträgt 11,8%, ähnlich wie bei Sojaöl. Das leicht hellgrün gefärbte Öl hat einen neutralen Geschmack. Der Ölsäureanteil liegt bei etwa 50%, sein Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren nur bei 12 %; es ist somit erhitzbar und zum Braten geeignet.

## Sanddornöl

Sanddornöl, ist ein ausgesprochenes Spezialöl. Es wird aus den Beeren des Sanddornstrauches gewonnen (39). In Rußland wird es bereits als Arzneimittel betrachtet. Das Öl selbst besitzt eine intensiv orangerote Farbe und schmeckt fruchtig. Es enthält eine große Anzahl von Fettbegleitstoffen, so z.B. Vitamin E, Carotinoide, Flavonoide und Sterine. Ein weiteres Plus ist seine große Menge an Palmitoleinsäure, die es zu einem hervorragenden Mittel zur Behandlung von Hauterkrankungen macht. Weiterhin schreibt man dem Öl eine das Immunsystem stärkende Wirkung zu.

Tab. 8: Fettsäuregehalte von Haselnuß- und Macadamiaöl

Pflanzenarten	Haselnußöl		Macadamiaöl	
Herkunft bzw. Bezeichnung	„Spinnrad“	Baumhasel	„Spinnrad“	„Kattus“
Qualität	kaltgepr.	kaltgepr.	kaltgepr.	kaltgepr.
Fettsäuregehalte (Anteile in %)				
Laurinsäure			0,1	0,1
Myristinsäure			0,7	1
Palmitinsäure	5,2	6,2	8,5	8,5
Palmitoleinsäure	0,2	0,3	18,2	20,2
Stearinsäure	2,0	1,5	3,1	3,1
Ölsäure	77,1	72,9	67,3	55,3
Vaccensäure	1,3	2,8	4,5	4,5
Linolsäure	13,9	16,7	1,8	1,7
$\alpha$ -Linolensäure	0,1		0,1	0,1
Arachinsäure	0,1		2,2	2,2
<sup>11</sup> -Eicosensäure	0,2	0,3	2,1	1,9
Eicosadiensäure			0,6	0,6
Erucasäure	0,2		0,2	0,2
Lignocerinsäure			0,2	
gesättigte Fettsäuren	7,3	7,7	15,4	15,5
einfach ungesättigt	79,0	76,3	92,3	82,1
mehrfach ungesättigt	14,0	16,7	1,9	1,8
P/S-Wert	1,9	2,2	0,1	0,1

Fettsäurezusammensetzung und Tocopherolgehalt wurden an einem im Handel befindlichen Öl untersucht. Die ermittelte Fettsäurezusammensetzung weicht zum Teil erheblich von in der Literatur vorhandenen Daten ab. Das Öl enthält mit 58,2 mg/100g Öl einen sehr hohen  $\alpha$ -Tocopherolgehalt und wird darin nur von wenigen Pflanzenölen übertroffen.



## 4.2.5 Getreidearten: mittlere Gehalte an Ölsäure, hohe Gehalte an Linolsäure

### Sesamöl

Sesamöl ist bereits seit mehreren tausend Jahren in China und Indien bekannt. Auch heute ist dieses intensiv schmeckende Öl fester Bestandteil der asiatischen Küche. Im Handel sind zwei Varianten davon erhältlich; ein blaßgelbes Öl und ein dunkelbraunes, das aus gerösteten Sesamkörnern hergestellt wird (48). Letzteres wird auf Grund seines intensiven Geschmacks nur in kleinen Mengen verwendet. Sesamöl ist gut erhitzbar, da es über einen hohen Anteil an Ölsäure und gesättigten Fettsäuren verfügt. Wie bei Erdnußöl unterscheiden sich die Anteile von Öl- und Linolsäure nur um 3%. Dieses ausgewogene Verhältnis kann die Stoffwechselvorgänge günstig beeinflussen. Neben Tocopherolen enthält Sesamöl auch Lezithin, und weitere antioxidative Substanzen wie z.B. Sesamin und Sesamolin.

Der Untersuchung des Fettsäuremusters und der Tocopherole lagen zwei im Handel erhältliche Öle der Marken Brändle und Amoy zu Grunde, von denen letzteres aus gerösteten Körnern hergestellt wurde. Die vielen Fettbegleitstoffe scheinen das Öl besonders zu stabilisieren, denn überraschenderweise unterschieden sich, wie man aus Tab. 15 ersehen kann, die Öle in ihrer Fettsäurezusammensetzung nicht wesentlich. Die Unterschiede bei den Tocopherolmengen sind wahrscheinlich auf die unterschiedliche Herkunft der Körner und nicht auf das Herstellungsverfahren zurückzuführen.

Tab. 9: Fettsäurezusammensetzung verschiedener Pflanzenöle - Öl in Getreide- und Pseudogetreidearten

Pflanzenarten	Sesam	Sesam	Hafer	Mais	Urweizen	S.Weizen	S.Gerste
Bezeichnung, Firma	Amoy, geröstet	Brändle			Kammut	Melon	Barke
Myristinsäure			0,4		0,1	0,1	0,2
Palmitinsäure	10,5	11,9	17,8	11,0	18,4	16,5	21,2
Palmitoleinsäure	0,1			0,1	0,1	0,2	0,1
Stearinsäure	3,9	5,3	1,1	1,8	1,1	0,7	1,3
Ölsäure	37,5	41,2	34,9	26,0	16,3	14,7	14,5
Vaccensäure	1,4	1,5	1,2	0,7	0,9	1,0	0,8
Linolsäure	45,1	40,9	42,0	57,9	56,3	60,7	54,4
$\alpha$ -Linolensäure	0,6	0,3	2,0	1,6	4,8	4,8	6,1
Arachinsäure	0,5	0,6		0,4	0,1	0,1	0,2
<sup>11</sup> -Eicosensäure	0,2		1,0	0,2	0,8	0,7	0,9
gesättigte Fettsäuren	14,9	17,8	19,3	13,2	19,7	17,6	23,1
einfach ungesättigt	39,8	42,7	36,1	26,9	18,2	16,7	16,5
mehrfach ungesättigt	45,7	41,2	44,6	59,4	61,4	65,8	60,0
P/S-Wert*	3,1	2,3	2,3	4,4	3,1	3,7	2,6



## Getreidearten

Getreide enthält üblicherweise nur geringe Mengen an Öl (1-2 %, Hafer und Mais deutlich mehr); eine Ölgewinnung ist nicht möglich. Angesichts der Tatsache, daß Getreide und Getreideprodukte einen wesentlichen Anteil an der menschlichen Nahrung ausmachen, ist deren Zusammensetzung an Fettsäuren durchaus von Interesse. Auffallend ist ein relativ hoher Gehalt an gesättigten Fettsäuren, insbesondere bei den klassischen Arten Weizen, Hafer, Gerste. Dem steht ein geringer bis sehr geringer Gehalt an Ölsäure gegenüber; der Gehalt an Linolsäure ist sehr hoch.

### 4.2.6 Sonderöle mit hohen Gehalten an seltenen Fettsäuren

Es gibt einige Ölpflanzen, deren Öle sich ganz erheblich von denen unterscheiden, die in Europa üblicherweise angebaut werden. Sie enthalten entweder sehr hohe Anteile an gesättigten oder von sehr seltenen Fettsäuren. Sie sind somit besonderen Nutzungen vorbehalten.

Tab. 10: Fettsäurezusammensetzung verschiedener Pflanzenöle - Sonderöle spezieller Pflanzenarten

Pflanzenarten	Fettsäure	Kokos	Rizinus	Lorbeer
Qualität				
Caprylsäure	C 8:0	10,0		
Caprinsäure	C 10:0	6,7		
Laurinsäure	C 12:0	52,1		22,5
Myristinsäure	C 14:0	17,5		0,7
Palmitinsäure	C 16:0	7,3	1,6	20,3
Palmitoleinsäure	C 16:1			0,7
Stearinsäure	C 18:0	1,7	1,5	1,0
Ölsäure	C 18:1	3,9	3,6	26,8
Vaccensäure	C 18:1		0,7	1,5
Linolsäure	C 18:2	0,8	5,0	24,2
$\alpha$ -Linolensäure	C 18:3		0,4	0,8
Arachinsäure	C 20:0		0,1	0,1
<sup>11</sup> -Eicosensäure	C 20:1		0,3	0,4
Eicosadiensäure	C 20:2			0,1
Behensäure	C 22:0			0,2
Rizinolsäure			82,7	
gesättigte Fettsäuren		95,3	3,1	44,8
einfach ungesättigte Fettsäuren		3,9	4,6	29,4
mehrfach ungesättigte Fettsäuren		0,8	5,5	25,1

### Kokosöl bzw. Kokosfett

Aus den Früchten der Kokospalme wird ein weißes, leicht nach Kokos schmeckendes Öl gewonnen. Es besteht zu 90 bis 95 % aus gesättigten Fettsäuren. Hauptbestandteil ist die Laurinsäure. Die Ölsäure ist mit 4 bis 8 % die einzige ungesättigte Fettsäure. Das Öl enthält jedoch bis zu 1% Fettbegleitstoffe, darunter  $\delta$ -Lactone, die für den typischen Geschmack verantwortlich sind. Ein Teil dieser Inhaltsstoffe geht jedoch bei der Gewinnung und Aufbereitung des Öls verloren. Auf Grund seines Fettsäurespektrums ist das Öl hoch erhitzbar. Das raffinierte Öl enthält kein Vitamin E.

### Rizinusöl

Rizinusöl hat nur therapeutische und technische Bedeutung (50). Es wird aus den giftigen Samen der Rizinuspflanze gewonnen. Die Giftstoffe „Rizin“ und „Rizinin“, müssen aus dem Öl entfernt werden (51), ehe es zu Anwendung kommen kann. Oral angewandt gilt es als starkes Abführmittel. Verantwortlich dafür ist die Rizinolsäure, eine Hydroxifettsäure, die zu über 80% in diesem Öl enthalten ist. Durch äußerliche Anwendung des Öls lassen sich Schuppen, Narbenbildung, Altersflecken und Hämorrhoiden behandeln. Das im Handel erhältliche Öl wies bei der Untersuchung einen hohen Gesamttocopherolgehalt von 70 mg/100g Öl auf.

### Lorbeeröl

Untersucht wurde ein türkisches Öl, das aus Früchten und Blättern hergestellt wurde. Es ist ein dunkelgrünes Öl von dickflüssiger Konsistenz und riecht intensiv nach Lorbeer. Dieses Öl ist nur für den äußeren Gebrauch gedacht. Es soll rheumatische Beschwerden lindern. Seine Zusammensetzung weist eine Besonderheit auf. Laurin-, Palmitin-, Öl- und Linolsäure liegen in etwa gleichen Anteilen (je 20%) vor. Sein Gesamttocopherolgehalt beträgt 52 mg/ 100g Öl.

### 4.3 Veränderung der Pflanzenöle

Öl für den täglichen Gebrauch ist Umwelteinflüssen wie Licht, Temperatur oder Sauerstoffkontakt ausgesetzt. Durch die Entstehung freier Radikale kann das Öl oxidiert werden, es können gesundheitsschädigende Verbindungen entstehen. Die freien Fettsäuren im Öl nehmen zu; das Öl wird ranzig und ist für den Verzehr nicht mehr geeignet. Öle mit einem hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren sind von diesen Reaktionen besonders betroffen, da diese Fettsäuren als reaktionsfreudig und somit als chemisch instabil gelten. Es ist deshalb entscheidend, wie lange und unter welchen Bedingungen die Öle aufbewahrt werden können, ohne zu verderben.

#### 4.3.1 Einfluß der Lagerzeit und Lichteinwirkung

Die Empfehlung der Hersteller von Pflanzenölen lautet generell, das Öl kühl und dunkel aufzubewahren. In vielen Haushalten ist dies aber nicht möglich, Öl wird dort in lichtdurchlässigen Flaschen und bei Raumtemperatur gelagert. Durch häufiges Öffnen der Flaschen oder durch undichte Verschlüsse kommt das Öl zudem in ständigen Kontakt mit Luftsauerstoff.

Eine Versuchsreihe sollte klären, wie sich Öl unter diesen Bedingungen verhält und wie lange die Fettsäurezusammensetzung stabil bleibt. Als Testöl diente das kaltgepresste Hanföl aus dem Jahr 1998. Es hatte den Vorteil, daß seine Vorgeschichte genau bekannt war. Zusätzlich wurden von Erdnußöl und den beiden im Handel erhältlichen Olivenölen je zwei Proben genommen. Eine davon wurde ½ Jahr im Kühlschrank die andere bei Raumtemperatur aufbewahrt. Von diesen Ölproben wurden zu Beginn und nach 6 Monaten die Fettsäurezusammensetzung bestimmt.

Das Hanföl wurde für den Versuch in Glasflaschen unterschiedlicher Lichtdurchlässigkeit gefüllt. Die lichtundurchlässige Flasche wurde über einen Zeitraum von 1 ½ Jahren im Kühlschrank aufbewahrt, die lichtdurchlässige stand die gleiche Zeit bei Raumtemperatur unter Einwirkung des Tageslichts. Eine weitere Ölprobe wurde unter gleichen Bedingungen zusätzlich noch ständigem intensiven Kontakt mit Luftsauerstoff ausgesetzt. Im Laufe der Meßdauer wurden in den ersten beiden Fällen jeweils 10 und im letztgenannten Fall 7 Proben entnommen und analysiert um Veränderungen in der Zusammensetzung festzustellen.

Die Ergebnisse der ersten Meßreihe (Tab. 11) zeigen, daß der Einfluß von Lagerdauer und Licht auf die Veränderung der Fettsäurezusammensetzung von Hanföl selbst über einen sehr langen Zeitraum insgesamt nur gering ist. Die drei mehrfach ungesättigten Fettsäuren, Linolsäure,  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Linolensäure bleiben während der gesamten Lagerzeit relativ stabil. Der Gehalt an  $\gamma$ -Linolensäure nahm bei der im Kühlschrank (Reihe A) aufbewahrten Probe lediglich von 3,3 % auf 2,8 % ab. Dies entspricht einer relativen Abnah-

me von 15 %. Der Gehalt der  $\alpha$ -Linolensäure nahm im gleichen Zeitraum um 5 % ab. Der Anteil der Linolsäure blieb fast 12 Monate unverändert bei etwa 54,7 %.

**Tab. 11: Einfluß von Lagerdauer und Lichteinwirkung auf die Fettsäuregehalte von Hanföl (Fettsäure in % des Ölgehalts)**

Lagerbedingung: A = lichtundurchlässigen Glasflasche bei 6°C im Kühlschrank  
B = lichtdurchlässige, verschlossene Glasflasche bei Zimmertemperatur und Tageslicht

	Lager- bedingung	Lagerdauer (in Tagen)									
		40	71	98	130	173	204	288	399	441	525
Palmitinsäure	A	6,7	6,6	6,8	7,0	6,9	6,9	6,8	7,7	7,3	7,4
	B	6,7	7,1	7,4	6,9	6,7	7,0	6,9	7,5	7,3	7,5
Stearinsäure	A	2,4	2,4	2,3	2,4	2,4	2,4	2,3	2,4	2,3	2,0
	B	2,4	2,4	2,3	2,4	2,4	2,4	2,3	2,4	2,3	2,1
Ölsäure	A	9,6	9,5	9,7	9,5	9,4	9,8	9,6	9,5	9,5	9,1
	B	9,6	9,7	9,7	9,5	9,6	9,8	9,7	9,8	9,6	9,0
Vaccensäure	A	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1
	B	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	1,2	1,1	1,1
Linolsäure	A	54,7	54,9	54,8	54,4	54,5	54,7	54,5	55,2	55,5	57,1
	B	54,5	54,8	55,0	54,0	54,4	54,7	55,0	55,1	55,4	56,6
$\alpha$ -Linolensäure	A	19,4	19,5	19,3	19,5	19,3	18,9	19,1	18,6	18,7	18,4
	B	19,2	19,0	19,1	19,2	19,4	18,8	19,0	18,3	18,7	18,7
$\gamma$ -Linolensäure	A	3,3	3,3	3,2	3,4	3,3	3,1	3,1	2,9	3,0	2,8
	B	3,3	3,2	3,2	3,3	3,3	3,1	3,1	2,9	2,9	2,9
Arachinsäure	A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,5
	B	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7
<sup>11</sup> -Eicosensäure	A	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2
	B	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
Behensäure	A	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2
	B	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2

Auch die Einwirkung des Tageslichtes (Reihe B) hatte keinen Einfluß auf die Fettsäurezusammensetzung. Die Ölprobe, die hell und bei Raumtemperatur gelagert wurde, zeigte während der gesamten Versuchsdauer nur im Rahmen der Meßgenauigkeit abweichende Gehalte.

Ein vollständig anderes Verhalten zeigte die Probe, die in Kontakt mit Luftsauerstoff stand (Tab. 12). Während der ersten 200 Tage blieb das Fettsäurespektrum konstant. Innerhalb der nächsten 100 Tage veränderte die Probe ihre Farbe von grün zu hellgelb. Gleichzeitig zeigten sich große Abweichungen in der Fettsäurezusammensetzung. Der Anteil der  $\alpha$ -Linolensäure sank um ca. 30% von 18,0 auf 12,5%. Im weiteren Versuchsverlauf begann die Probe zu polymerisieren. Dies ging mit einem weiteren Rückgang der mehrfach unge-

sättigten Fettsäuren einher. Nach weiteren 100 Tagen war der Anteil an  $\alpha$ -Linolensäure auf 22 % und an  $\gamma$ -Linolensäure auf 12% des Ausgangsgehaltes gesunken.

Licht und Temperatur wirken sich - zumindest in diesem Beispiel - auf das Fettsäurespektrum nicht aus. Eine mögliche Erklärung kann im Vitamin-E-Gehalt des Hanföls liegen. Dieses wird bei schonender Ölgewinnung nicht zerstört und kann die Oxidation der Fettsäuren hemmen. Luftsauerstoff kann das im Öl vorhandene Vitamin E zerstören und somit zum Abbau der ungesättigten Fettsäuren beitragen. Dafür spricht, daß in der dem Luftsauerstoff ausgesetzten Probe nach 300 Tagen kein Tocopherol mehr nachzuweisen war.

**Tab. 12: Einfluß der Lagerdauer auf den Fettsäuregehalt von Hanföl ( % des Gesamtöl);**  
Probe in einer offenen, lichtdurchlässigen Glasschale bei Zimmertemperatur und Tageslicht aufbewahrt

	Lagerdauer (in Tagen)						
	33	76	107	191	302	344	428
Palmitinsäure	7,0	7,1	7,2	7,4	10,6	7,8	21,3
Palmitoleinsäure	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2
Stearinsäure	2,4	2,4	2,5	2,5	3,3	4,7	5,8
Ölsäure	9,6	9,7	10,0	9,9	12,9	15,0	18,0
Vaccensäure	1,0	1,0	0,9	0,9	1,4	1,8	2,6
Linolsäure	54,3	54,6	54,9	54,4	54,4	46,9	40,9
$\gamma$ -Linolensäure	3,3	3,2	3,0	2,9	2,0	1,1	0,4
$\alpha$ -Linolensäure	19,3	19,0	18,5	18,0	12,5	7,5	4,2
Arachinsäure	0,8	0,8	0,8	0,7	1,1	1,4	1,4
<sup>11</sup> -Eicosensäure	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6
Behensäure	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	

Geht man davon aus, daß sich Umwelteinflüsse am deutlichsten bei Ölen mit einem hohem Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren zeigen, so müßte Hanföl im Vergleich mit Erdnußöl und Olivenöl sich sehr stark verändern. Der P/S-Wert, d.h. der Quotient aus den prozentualen Anteilen an mehrfach ungesättigten und gesättigten Fettsäuren, beträgt für Hanföl 7,7 für Erdnußöl 2,2 und für Olivenöl sogar nur 0,6. Ein Vergleich der Daten in Tabelle 13 zeigt jedoch, daß genau das Gegenteil der Fall ist.

Nach einem halben Jahr hat sich die Fettsäurezusammensetzung für Hanföl, unabhängig vom Aufbewahrungsort, kaum geändert. Bei Erdnußöl zeigt sich völlig unerwartet eine deutliche Abnahme der Konzentration von Öl- und Vaccensäure um 2 % sowie eine Zunahme der Linolsäuregehalte um 6% der Ausgangskonzentration. Der Aufbewahrungsort spielt dabei keine Rolle.

**Tab. 13: Fettsäuregehalte von Hanföl, Erdnußöl und Olivenöl nach einer Lagerzeit von sechs Monaten unter verschiedenen Lagerbedingungen.**

Ölsorte, Marke	Hanf			Erdnuß			Oliven (Spar)			Oliven (Dante)		
Lagerbedingungen	Ausgangswert	kühl und dunkel	warm und hell	Ausgangswert	kühl und dunkel	warm und hell	Ausgangswert	kühl und dunkel	warm und hell	Ausgangswert	kühl und dunkel	warm und hell
		6 Monate			6 Monate			6 Monate			6 Monate	
Myristinsäure					0,1		0,2					
Palmitinsäure	6,7	6,9	6,7	10,0	10,6	10,4	12,4	12,1	12,2	11,3	11,7	11,1
Palmitoleinsäure		0,1	0,1	0,1	0,1		0,9	0,7	0,8	0,7	0,6	0,6
Stearinsäure	2,4	2,4	2,4	1,8	1,6	1,5	2,4	1,9	2,1	2,5	2,2	2,2
Ölsäure	9,6	9,4	9,6	42,8*	41,9*	42,2*	71,2*	72,8*	73,4*	73,5	75,2	74,7
Vaccensäure	1,0	0,9	0,9							4,2	4,6	4,2
Linolsäure	54,7	54,5	54,4	38,4	40,7	40,8	11,3	10,4	11,0	6,0	4,9	5,8
$\gamma$ -Linolensäure	3,3	3,3	3,3									
$\alpha$ -Linolensäure	19,4	19,3	19,4	0,4	0,3	0,3	0,5	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4
Arachinsäure	0,8	0,8	0,8	0,9	0,5	0,6	0,3	0,2	0,2	0,4	0,2	0,3
<sup>11</sup> -Eicosensäure	0,4	0,4	0,3	1,6	1,1	1,1	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2
Behensäure	0,4	0,4	0,3	2,4	2,0	2,0	0,1	0,1	0,1	0,1		0,1
Erucasäure				0,2	0,2	0,1						
Lignocerinsäure				1,3	1,0	0,9						

\*) Summe aus Öl- und Vaccensäureanteil

Bei Olivenöl (Tab. 13) erhöhten sich erwartungsgemäß die Öl- und Vaccensäuregehalte um etwa 2,5 % gegenüber der Ausgangskonzentration für beide untersuchten Öle. Die Linolsäurekonzentration sinkt für beide Öle um 8 bzw. 18 % der Ausgangskonzentration bei den Ölen im Kühlschrank. Überraschender Weise liegen die Werte für die Proben, die bei Raumtemperatur aufbewahrt werden in beiden Fällen bei 3 %. Die Linolsäurekonzentration ist jedoch für das Öl der Marke Dante mit 6 % sehr gering, so daß schon geringfügige Änderungen eine hohe prozentuale Abweichung ergeben. Ein gravierender Unterschied für die unterschiedliche Aufbewahrungsorte läßt sich auch hier nicht erkennen.

Berücksichtigt man nicht nur die Konzentration der mehrfach ungesättigten Fettsäuren sondern auch den Vitamin E Gehalt der Öle, so wird klar, warum sich Hanföl als das stabilste Öl erweist. Sein Gesamttocopherolgehalt beträgt 89,4 mg/ 100g Öl, der von Erdnußöl 38,3 und der von Olivenöl sogar nur 12,3 mg/ 100g Öl. Olivenöl besitzt im Gegensatz zu den beiden anderen Ölsorten auch kein  $\gamma$ -Tocopherol, das in erster Linie für die Stabilität des Öls verantwortlich ist, während Hanföl mit über 60 mg/ 100g Öl sehr hoch liegt. Um zu beurteilen wie stabil ein Öl sich verhält, darf man nicht nur die Fettsäurezusammensetzung betrachten. Auch die Fettbegleitstoffe, die als Antioxidantien wirken, wie die Tocopherole, müssen dabei berücksichtigt werden.

### 4.3.2 Einfluß der Erhitzung

Eine weitere Möglichkeit, die Oxidation von Fettsäuren zu bewirken, ist der Einfluß von Temperatur in Kombination mit Luftsauerstoff. Auch dabei sollte sich mit steigender Temperatur eine Abnahme der mehrfach ungesättigten Fettsäuren im Fettsäurespektrum bemerkbar machen. Bei einer Temperatur über der Schmeltemperatur, bei Hanföl z.B. 165°C, kann es außerdem zu Zersetzungserscheinungen kommen, erkennbar an der Zunahme von nicht identifizierbaren Stoffen. In diesem Temperaturbereich muß außerdem mit der Zerstörung der natürlich vorhandenen Antioxidantien gerechnet werden. Dieser Prozeß kann die Oxidation der mehrfach ungesättigten Fettsäuren noch beschleunigen.

Tab. 14: Einfluß der Erhitzung auf die Fettsäuregehalte von Mohn- und Rapsöl

Fettsäuren	Erhitzungstemperatur											
	Mohnöl						Rapsöl					
	20	50	100	150	200	250	20	50	100	150	200	250
Myristinsäure	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1				
Palmitinsäure	10,9	11,1	10,9	11,0	11,5	12,0	4,5	4,5	4,9	4,9	5,0	5,2
Palmitoleinsäure	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Stearinsäure	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6
Ölsäure	12,5	12,4	12,3	13,2	12,8	13,3	60,3	60,5	61,2	61,2	61,9	63,1
Vaccensäure	1,4	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	4,5	4,2	4,6	4,5	4,4	4,8
Linolsäure	72,3	72,1	72,5	71,5	70,4	69,8	19,1	19,0	18,5	18,9	18,3	17,5
$\alpha$ -Linolensäure	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	8,2	8,1	7,8	7,8	7,3	6,6
Arachinsäure	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5
<sup>11</sup> -Eicosensäure	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,9	0,9	1,0	1,0	0,6	1,0
Behensäure					0,10	0,17	0,2	0,2		0,3	0,3	
gesättigte Fettsäuren	12,9	13,1	12,8	13,0	13,6	14,4	6,6	6,8	6,9	7,2	7,3	7,3
mehrfach ungesättigt	72,9	72,8	73,1	72,1	71,0	70,4	66,0	65,9	66,9	66,9	67,1	69,1
einfach ungesättigt	14,2	14,1	14,0	14,9	14,5	15,1	27,3	27,1	26,3	26,7	25,6	24,2

Um das Temperaturverhalten diverser Öle zu untersuchen, wurde das jeweilige Öl - ausgehend von Raumtemperatur - auf 50°C erhitzt. Diese Temperatur wurde 30 min konstant gehalten. Danach erfolgte die Probenahme zur Bestimmung der Fettsäurezusammensetzung und für ausgewählte Öle auch zur Bestimmung der Tocopherole. Anschließend wurde die Temperatur solange um weitere 50°C erhöht bis eine Endtemperatur von 250°C erreicht wurde.

Für Mohn- und Rapsöl wurden nur die Fettsäuremuster bestimmt. Für das Olivenöl, für Traubenkern-, Erdnuß-, Haselnuß-, Weizenkeim- und Distelöl sowie Hanföl, das aus dem

Erntegut des Jahres 1999 gewonnen wurde, erfolgte auch eine Bestimmung der Tocopherole.

Die Ergebnisse für die Fettsäurezusammensetzung sind in den Tabelle 15 bis 19 nachzusehen. Der Vollständigkeit halber werden auch noch die Daten für Borretschöl und Hanföl (1998) angegeben. Bei den Daten für die Fettsäuremuster ist zu beachten, daß keine Absolutwerte gemessen werden. So kann sich die Ab- oder Zunahme einer Fettsäure relativ gesehen auch auf alle anderen Fettsäuren auswirken.

Tab. 15: Einfluß der Erhitzung auf die Fettsäuregehalte von Hanf- und Borretschöl

Fettsäuren	Erhitzungstemperatur											
	Hanföl						Borretschöl					
	20	50	100	150	200	250	20	50	100	150	200	250
Myristinsäure	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Palmitinsäure	6,9	7,0	6,8	6,9	7,1	7,2	11,1	11,0	10,9	10,9	11,7	11,5
Palmitoleinsäure	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
Stearinsäure	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	3,7	3,7	3,7	3,8	3,7	4,1
Ölsäure	9,4	9,6	9,8	9,7	9,7	10,1	16,6	16,6	16,6	16,7	16,9	17,5
Vaccensäure	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7
Linolsäure	54,5	54,4	54,4	54,7	54,8	54,5	37,5	37,5	37,6	37,5	37,2	36,5
$\alpha$ -Linolensäure	19,3	19,0	19,0	18,9	18,7	18,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
$\gamma$ -Linolensäure	3,3	3,2	3,2	3,1	3,1	3,0	21,1	21,1	21,1	20,8	20,3	18,9
Stearidonsäure	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1						
Arachinsäure	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
<sup>11</sup> -Eicosensäure	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	3,9	3,9	3,9	4,0	3,9	4,2
Eicosadiensäure	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Behensäure							0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Erucasäure							2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,9
Lignocerinsäure								0,1	0,1	0,1		0,2
Nervonsäure							1,6	1,6	1,6	1,7	1,6	1,8
gesättigte Fettsäuren	10,5	10,5	10,4	10,5	10,9	11,0	15,4	15,2	15,1	15,2	16,0	16,2
einfach ungesättigt	10,7	11,0	11,1	11,1	11,1	11,5	25,3	23,8	23,8	24,1	24,3	25,3
mehrfach ungesättigt	78,4	77,9	77,8	78,0	77,8	77,0	59,0	58,9	59,0	58,7	57,8	55,7

Die Temperaturerhöhung bis auf 250 °C führt für alle untersuchten Öle zu einer mehr oder minder großen Änderung der Fettsäuregehalte. Bis etwa 150 °C bleiben die Änderungen im Bereich der Meßgenauigkeit, erst danach wirkt sich der Einfluß der Erhitzung merklich aus. Dies stimmt mit der Tatsache überein, daß ab diesen Bereich kaum noch Tocopherole nachweisbar sind.



Tab. 16: Einfluß der Erhitzung auf die Fettsäuregehalte von Traubenkern- und Erdnußöl

Fettsäuren	Erhitzungstemperatur											
	Traubenkernöl						Erdnußöl					
	20	50	100	150	200	250	20	50	100	150	200	250
Myristinsäure	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1			0,0		0,0
Palmitinsäure	7,3	7,0	6,9	7,0	7,1	7,2	9,8	10,4	11,1	10,0	10,1	10,9
Palmitoleinsäure	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		0,1	0,1	0,1
Stearinsäure	3,3	3,4	3,3	3,3	3,3	3,5	1,8	1,8	1,6	1,8	1,8	1,8
Ölsäure	24,8	24,8	24,7	24,9	25,2	25,5	41,5	41,9	41,4	41,8	42,7	42,8
Vaccensäure	1,3	1,2	1,1	1,2	1,5	1,5	1,5	1,4	1,3	1,6	1,5	1,7
Linolsäure	63,0	62,7	63,1	62,7	61,3	61,1	38,5	38,7	38,5	38,3	38,2	36,5
$\alpha$ -Linolensäure	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
Arachinsäure	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8
<sup>11</sup> -Eicosensäure	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,5	1,5	1,4	1,4	1,5	1,4
Behensäure		0,2	0,2		0,2	0,2	2,5	2,5	2,2	2,4	2,5	2,3
gesättigte Fettsäuren	10,7	10,9	10,7	10,6	10,8	11,2	44,8	45,0	44,1	45,1	45,7	46,1
einfach ungesättigt	26,4	26,2	26,1	26,3	26,9	27,2	16,2	16,6	16,9	16,2	16,5	17,2
mehrfach ungesättigt	63,1	62,9	63,2	62,9	61,6	61,3	38,9	39,1	38,8	38,7	38,5	36,8

Tab. 17: Einfluß der Erhitzung auf die Fettsäuregehalte von Haselnuß- und Distelöl

Fettsäuren	Erhitzungstemperatur											
	Haselnußöl						Distelöl					
	20	50	100	150	200	250	20	50	100	150	200	250
Myristinsäure	0,1	0,0		0,0	0,0		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Palmitinsäure	5,1	5,3	5,3	5,3	5,1	5,4	5,6	5,8	5,9	5,7	6,1	5,9
Palmitoleinsäure	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1		0,1
Stearinsäure	1,3	1,7	1,7	1,7	1,8	1,9	2,6	2,6	2,5	2,7	2,8	2,6
Ölsäure	77,2	76,7	77,6	77,7	77,4	78,1	67,0	66,6	66,7	66,9	68,6	68,3
Vaccensäure	2,9	2,7	2,8	2,7	3,6	3,0	23,5	23,8	23,7	23,5	21,9	21,4
Linolsäure	13,0	13,1	12,4	12,1	11,2	10,9	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
$\alpha$ -Linolensäure	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4
Arachinsäure	0,1	0,1		0,1	0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3		0,3
<sup>11</sup> -Eicosensäure	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3		0,3
Behensäure	0,2			0,2	0,2	0,1	9,0	9,1	9,1	9,2	9,4	9,4
gesättigte Fettsäuren	6,7	7,1	7,0	7,3	7,3	7,5	67,3	66,9	67,1	67,3	68,6	68,7
einfach ungesättigt	80,4	79,9	80,7	80,6	81,3	81,5	23,7	24,0	23,9	23,7	22,1	21,6
mehrfach ungesättigt	13,1	13,1	12,5	12,2	11,3	11,0	13,1	13,1	12,5	12,2	11,3	11,0

Allen Ölen gemeinsam ist eine Zunahme der gesättigten und eine Abnahme der mehrfach ungesättigten Fettsäuren. Die Konzentration der einfach ungesättigten Fettsäuren nimmt ebenfalls zu, Ausnahmen sind Oliven- und Borretschöl. Für Olivenöl ist sogar eine leichte Abnahme zu verzeichnen, bei Borretschöl bleibt ihre Konzentration konstant.

Überraschend ist die Tatsache, daß man allein durch eine Temperaturerhöhung um ca. 200°C die mehrfach ungesättigten Fettsäuren kaum zerstören kann. Sogar die dreifach ungesättigten  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Linolensäuren sind bei Versuchsende noch in größeren Mengen vorhanden. Bei Hanföl sinkt der Anteil der  $\gamma$ -Linolensäure nur um 0,3 % und bei Borretschöl um 2,2 %. Bei Versuchsende sind also für Hanföl noch 87,7% und für Borretschöl 89,8 % der Ausgangskonzentration vorhanden.

Tab. 18: Einfluß der Erhitzung auf die Fettsäuregehalte von Oliven- und Weizenkeimöl

Fettsäuren	Erhitzungstemperatur											
	Olivenöl						Weizenkeimöl					
	20	50	100	150	200	250	20	50	100	150	200	250
Myristinsäure							0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Palmitinsäure	12,0	11,6	11,9	12,4	12,0	12,2	19,0	19,1	18,7	19,0	19,4	19,4
Palmitoleinsäure	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Stearinsäure	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7
Ölsäure	73,7	74,1	73,8	73,6	71,7	73,2	15,5	15,6	15,8	16,1	16,5	16,4
Vaccensäure	3,4	3,4	3,5	3,5	3,4	4,0	1,4	1,5	1,3	1,4	1,5	1,4
Linolsäure	6,1	5,8	5,8	6,1	7,8	5,2	55,9	55,8	55,9	55,5	55,1	54,8
$\alpha$ -Linolensäure	0,5	0,5	0,4	0,6	0,4	0,4	5,6	5,4	5,3	5,4	5,2	5,0
Arachinsäure	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
<sup>11</sup> -Eicosensäure	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1,3	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3
Behensäure	0,1	-	-	0,1	0,1	0,1	0,1		0,2	0,2	0,2	0,2
Squalen	0,4	0,5	0,3	0,2	0,3	0,2						
gesättigte Fettsäuren	15,0	14,6	14,9	15,5	15,1	15,4	19,9	19,9	19,7	20,1	20,5	20,5
einfach ungesättigt	77,9	78,4	78,2	77,9	75,9	77,6	18,4	18,5	18,5	18,9	19,4	19,3
mehrfach ungesättigt	6,6	6,3	6,2	6,7	8,2	5,6	61,6	61,2	61,2	60,8	60,2	59,8

Um das Temperaturverhalten verschiedener Pflanzenöle zusammenfassend zu veranschaulichen, wurden drei Fettsäuren mit unterschiedlichem Sättigungsgrad (Palmitin-, Öl- und Linolsäure) dargestellt; Tabelle 18 zeigt die Veränderung durch Erhitzen auf 250 °C gegenüber 20 °C, sowie die Konzentration bei 250°C, ausgedrückt in % der Ausgangskonzentration für diese Fettsäuren.

Die Palmitinsäure nimmt in allen Ölen durch die Erhitzung zu, häufig in einer Größenordnung von 10 - 15 % gegenüber der Ausgangskonzentration. Die Ölsäure nimmt ebenfalls

zu, wenngleich auch nicht bei jedem Öl und in wesentlich geringerem Ausmaß; bei Olivenöl nimmt sie sogar leicht ab. Völlig anders wird die mehrfach ungesättigte Linolsäure beeinflusst. Sie nimmt in jedem Falle ab, oft sogar in einer Größenordnung von über 10 %. Relativ gesehen ist Abnahme der Linolsäure bei den Arten am größten, die den geringsten Ausgangsgehalt aufweisen (Olivenöl, Haselnußöl). Eine minimale Veränderung der Linolsäure ergab sich bei Hanf, ein Hinweis auf die außergewöhnlich hohe Stabilität dieses Öls.

Tab. 19: Einfluß der Erhitzung (von 20 bis 250°C) auf die Veränderung der Fettsäuregehalte verschiedener Pflanzenöle

Pflanzenöl	Mittlere Ausgangsgehalte an Linolsäure (%)	Palmitinsäure		Ölsäure		Linolsäure	
		in % absolut	in % der Ausgangskonzentration	in % absolut	in % Ausgangskonzentration	in % absolut	in % Ausgangskonzentration
Distel (Rapunzel)	79	+0,3	105,1	+1,3	102,0	-2,1	91,2
Mohn	72	+1,1	110,1	+0,8	106,5	-2,5	96,6
Traubenkern	63	-----	99,5	+0,7	102,7	-1,8	97,1
Hanf ( 1998)	57	+0,3	112,0	+0,6	110,0		99,8
Hanf (1999)	57	+0,2	110,0	+0,8	107,0	-0,2	99,7
Weizenkeim	57	+0,4	102,0	+0,9	105,9	-1,2	97,9
Borretsch	38	+0,4	103,5	+0,9	105,2	-1,0	97,3
Erdnuß	38	+1,1	110,9	+1,3	103,0	-2,1	94,6
Raps	20	+0,7	115,7	+2,8	104,6	-1,5	92,0
Haselnuß	17	+0,4	105,6	+1,0	101,2	-2,1	84,1
Oliven (Spar)	11	+1,1	110,8	-0,6	99,2	-1,3	87,5
Oliven (Dante)	11	+0,2	101,2	-0,4	99,4	-0,1	85,1

## 4.4 Tocopherolgehalte von Pflanzenölen

Mehrfach ungesättigte Fettsäuren verfügen über eine große Anzahl gesundheitsfördernder Eigenschaften, sind aber chemisch sehr instabil. Grund dafür sind freie Radikale, die Oxidationsprozesse auslösen. Öle mit einem hohen Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren werden dabei durch Autooxidation verändert. Geschmack, Farbe und Struktur ändern sich, ebenso die Fettsäurezusammensetzung. Diesem Prozeß wirken Antioxidantien entgegen, im besondere Tocopherole, von denen vier Formen zu unterscheiden sind. Den besten Schutz des Öles vor Oxidation bietet das  $\gamma$ -Tocopherol; im Stoffwechsel selbst ist jedoch das  $\alpha$ -Tocopherol von größter Bedeutung.

Tab. 20: Mittlere Tocopherolgehalte von Pflanzenölen (mg/100 g Öl)

Pflanzenart	$\alpha$ -Tocopherol	$\beta$ -Tocopherol	$\gamma$ -Tocopherol	$\delta$ -Tocopherol	Gesamt-Tocopherol
Weizenkeimöl	150,1	45,4			195,5
Sojaöl	11,6		66,7	21,1	99,4
Hanföl	12,9	3,4	63,4	9,7	89,4
Borretschöl				31,9	87,8
Rizinusöl			37,7	32,3	70,0
Sonnenblumenöl	61,7				61,7
Nachtkerzenöl	22,9		43,3	21,6	58,2
Rapsöl	18,1		34,7		52,8
Lorbeeröl	30,5		21,6		52,2
Sanddornöl	58,2				50,6
Distelöl	45,3				45,3
Mandelöl	32,4		12,8		45,2
Kürbiskernöl	8,2		33,7		41,9
Sesamöl	6,2		34,3		40,5
Haselnußöl	29,0	4,7	6,6		40,3
Leinöl	6,3		33,9		40,2
Erdnußöl	25,1		13,2		38,3
Walnußöl	10,5		18,5	7,4	36,5
Aprikosenkernöl			34,2		34,2
Wildrosenöl	32,9		17,8		31,9
Mohnöl	9,2		22,6		31,8
Traubenkernöl	29,1				29,1
Pistazienöl	8,4		13,2		21,6
Macadamiaöl			19,0		19,0
Königskerzenöl			14,6		14,6
Olivenöl o. Kerne	14,3				14,3
Olivenöl	12,3				12,3
Avocadoöl	11,8				11,8

Die einzelnen Ölarnten enthalten Tocopherole in sehr unterschiedlicher Menge, auch im Verhältnis der jeweiligen Formen zueinander. Weizenkeimöl weist mit knapp 200 mg/l Öl den höchsten Gehalt auf; es besteht zu  $\frac{3}{4}$  aus  $\alpha$ -Tocopherol. Diese Menge an Tocopherol wird generell bei Zusätzen zu raffinierten Ölen angestrebt. Mit deutlichem Abstand folgen Sojaöl, Hanföl und Borretschöl, die zwischen 80 und 100 mg/l enthalten.

Die in der heimischen Küche besser bekannten Öle aus Sonnenblumen, Raps und Lein weisen nur mittlere Mengen zwischen 40 und 60 mg/l auf. Bemerkenswert ist, daß die aus tropischer und subtropischer Heimat stammenden Pistazien, Avocado, Macadamia und selbst Oliven im ursprünglichen Zustand mit 12-15 mg/l nur sehr wenig Tocopherol enthalten.

Tab. 21: Tocopherolgehalte verschiedener Sorten an Ölpflanzen (mg/100 g Öl)

Pflanzenart	Sorte/Herkunft/Jahr	$\alpha$ -Tocoph.	$\beta$ -Tocoph.	$\gamma$ -Tocoph.	$\delta$ -Tocoph.	Summe
Sonnenblumen	Florine	68,43				68.43
	Alliance	63,64				63.64
	Fleury	53,15				53.15
Raps	Mittelwert 15 Sorten	14,98		33,78		48.76
	Mohican	21.16		35,66		56.82
Mandelöl	Spinnrad	30,3		14,7		
	Brändle	34,6		10,8		
Hanföl	Fasamo			58.16		
	Felina	3.56		50.24		
	Fedora	1.18	3.41	86.53	12.37	
	Bialobreski			74.88		
	Hanföl „Rapunzel“	7.33		58.20	7.05	
Sesam	Amoy (geröstet)	6.19		43.71		
	„Brändle“			31.52		
Haselnuß	„Spinnrad“	34.6		6.6		
	Baumhasel (Karlsruhe)	26.7	4.7	5.6		
Macadamia	„Spinnrad“			18.1		
	„Kattus“			19.9		
Olivenöl	„Spar“	11.1				
	„Dante“	11.7				
	„Italien“	13.4				
	„Türkei gepreßt“	12.8			7.7	
	„Türkei ohne Kerne“	14.3			7.7	

Die an einigen Beispielen durchgeführten Analysen verschiedener Pflanzensorten (Tab. 21) zeigen nur geringe Schwankungen. Der Gehalt an Tocopherolen ist also ein Kriterium

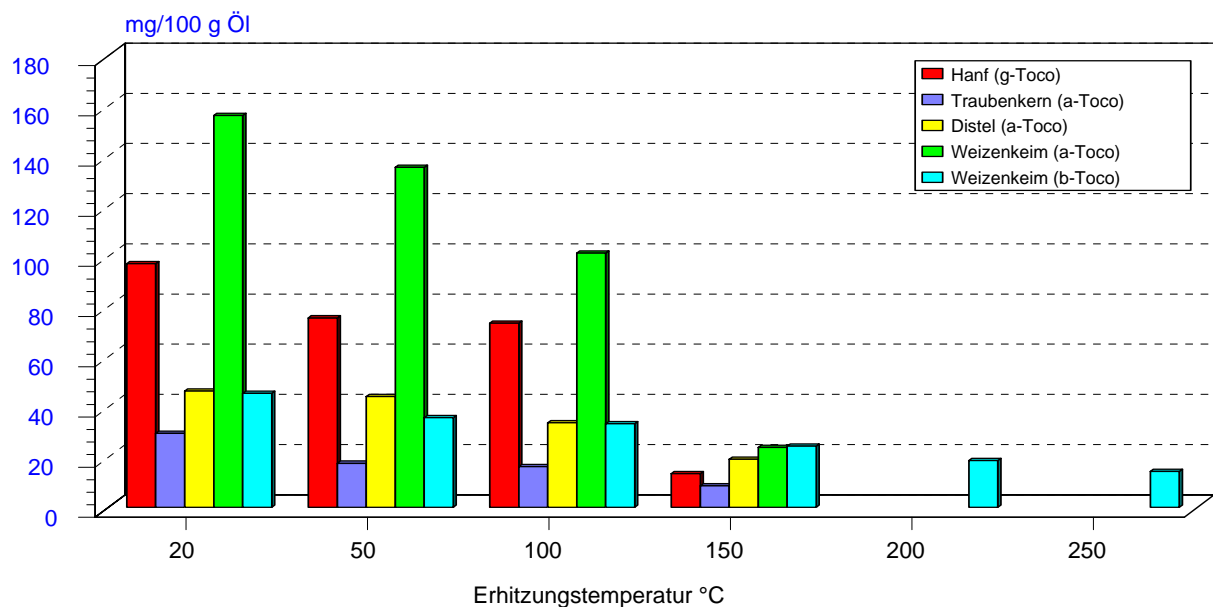
der Pflanzenart. Da sich einzelne Sorten nur wenig unterscheiden, deutet dies darauf hin, daß mit der bisherigen Züchtungsarbeit dieses Merkmal nicht verändert hat; es war schlicht gesagt kein Zuchtziel.

Ergänzend zu der Analysen des Einflusses der Erhitzung auf die Fettsäurezusammensetzung wurde auch die Veränderung des Tocopherolgehaltes geprüft.

Tab. 22: Einfluß der Erhitzung auf die Tocopherolgehalte verschiedener Pflanzenöle

		Erhitzungstemperatur (in °C)					
		20 °C	50 °C	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C
Haselnußöl	$\alpha$ -Tocopherol	21,6	19,1		14,7		
Erdnußöl	$\alpha$ -Tocopherol	25,1	17,0	12,8	4,6		
	$\gamma$ -Tocopherol	13,2			12,8	5,6	
Traubenkernöl	$\alpha$ -Tocopherol	29,4	17,5	19,1	8,5		
Distelöl (Rapunzel)	$\alpha$ -Tocopherol	46,3	44,1	33,6	19,1		
Weizenkeimöl	$\alpha$ -Tocopherol	156,1	135,4	101,2	23,8		
	$\beta$ -Tocopherol	45,4	35,7	33,2	24,3	18,6	14,3
Olivenöl (Spar)	$\alpha$ -Tocopherol	11,1	11,0	10,4			
Olivenöl (Dante)	$\alpha$ -Tocopherol	12,6	10,1	11,6	2,8		
Hanföl (1999)	$\gamma$ -Tocopherol	97,0	75,4	73,3	13,3		

Abb. 1: Einfluß der Erhitzung auf die Tocopherolgehalte verschiedener Pflanzenöle



Die Analysenergebnisse (Abb. 1, Tab. 22) zeigen eindeutig, daß bereits bei einer Erhöhung der Temperatur auf 50 °C der Tocopherolgehalt abnimmt. Dies wird sehr gravierend bei Temperaturen über 100 °C. Allerdings gilt diese Aussage nicht für alle Tocopherolformen in gleicher Weise. Am Beispiel des Weizenkeimöls scheint sich eine höhere Stabilität

des  $\beta$ -Tocopherols im Vergleich zum  $\alpha$ -Tocopherol zu zeigen; dies darf man allerdings nicht als generelle Eigenschaft feststellen. Ähnliches gilt für  $\gamma$ -Tocopherol.

Für die Linolsäure läßt sich ein Zusammenhang mit den Tocopherolwerten eindeutig herstellen. Ihr Anteil an den Fettsäuren sinkt bei Haselnußöl und den beiden Olivenölen unter 90% des Anfangswertes. Diese drei Öle besitzen den geringsten Tocopherolgehalt und enthalten zudem nur  $\alpha$ -Tocopherol. Hanföl besitzt den höchsten Gehalt an  $\gamma$ -Tocopherol, hier ändert sich die Linolsäurekonzentration nur unmerklich.

Insgesamt kann ein gewisser Zusammenhang der Veränderung der Fettsäuren mit den Tocopherolgehalten hergestellt werden derart, daß nennenswerte Abnahmen der ungesättigten Fettsäuren erst beginnen, wenn das Tocopherol zerstört ist. Um einen exakten Zusammenhang herzustellen müßten jedoch alle Fettbegleitstoffe bekannt sein. So unterscheiden sich die Tocopherolgehalte von Haselnuß- und Traubenkernöl kaum. Letzteres enthält jedoch mit Prozyanidin ein weiteres wirksames Antioxidans. Dies kann erklären, warum sich dieses Öl als sehr stabil erweist; bei Hanföl scheint es der hohe Anteil an  $\gamma$ -Tocopherol zu sein.

## 4.5 Tocopherolgehalte von Pseudocerealien

Die Pseudocerealien Quinoa und Amaranth enthalten mit 5 bis 8 % deutlich mehr Fett als unsere bekannten Getreidearten (10). Damit liegt die Gefahr nahe, daß insbesondere Mehl oder Schrot durch Veränderung der ungesättigten Fettsäuren relativ rasch ranzig werden. Es ist bekannt, daß Vitamin-E, nicht nur in Ölsaaten und Nüssen, sondern auch in Früchten und Körnern dem Fettverderb entgegen wirkt. Körner mit hohem Vitamin-E-Gehalt sind deshalb hinsichtlich ihrer Fettsäurezusammensetzung recht stabil. Ob dies für die genannten Pseudocerealien auch zutrifft, wurde durch Untersuchung von drei Quinoa- und zwei Amaranthsorten aus dem eigenen Versuchsanbau geprüft.

Tab. 23: Tocopherolgehalte von Quinoa und Amaranth

Pflanzenart Sorte	Quinoa Tango	Quinoa Temuco	Quinoa Bär II	Amaranth PO 826/97	Amaranth Pastewney
Ölgehalte g/100 g Körner	5,0	3,8	5,0	7,1	4,7
<b>Tocopherol in mg/100g Öl</b>					
$\alpha$ -Tocopherol	12,6	38,5	36,8	8,7	10,6
$\beta$ -Tocopherol		12,0	8,8	20,0	34,9
$\gamma$ -Tocopherol	8,8	30,5	29,1		2,5
$\delta$ -Tocopherol					20,8
Gesamttocopherol	21,4	81,0	74,6	28,7	68,7
<b>Tocopherol in mg/100g Korn</b>					
$\alpha$ -Tocopherol	0,63	1,46	1,81	0,62	0,50
$\beta$ -Tocopherol		0,46	0,44	1,42	1,64
$\gamma$ -Tocopherol	0,44	1,16	1,46		0,12
$\delta$ -Tocopherol					0,98
Gesamttocopherol	1,07	3,08	3,73	2,03	3,23

Quinoa enthält vor allem  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Tocopherol als Hauptkomponenten (Tab. 23), bei Amaranth dagegen überwiegt  $\beta$ -Tocopherol. Die einzelnen Sorten unterscheiden sich im Gesamtgehalt an Tocopherol relativ stark. Doch selbst der niedrigste Wert (Quinoa „Tango“) liegt mit 21,4 mg/100g Öl deutlich über dem für Olivenöl; einen ähnlichen Wert weist die Amaranth-Herkunft „PO 826/97“ auf. Die übrigen Sorten haben Gehalte von 70 - 80 mg/100g Öl, ein Anteil der sich selbst mit den guten Pflanzenölen vergleichen läßt.

Da der Rohfettgehalt der untersuchten Körner beträgt aber nur zwischen 4 und 7 %. Damit liegen die Werte auf das ganze Korn gerechnet, in einer Größenordnung von 1 - 4 mg/100 g. Eine nennenswerte Versorgung in der menschlichen Ernährung ist damit nicht erreichen, die notwendige Nahrungsmenge wäre mit etwa 2 kg/Tag utopisch hoch. Den-



noch reicht die in den Körnern vorhandene Menge aus, um die Zusammensetzung an Fettsäure über einen längeren Zeitraum nahezu konstant zu halten (Tab. 38).

Um das zu prüfen, wurden die Fettsäuregehalte für Quinoa („Sorte Bär II“) in einem Lagerungsversuch über 1 ½ Jahre untersucht. Die Körner waren während dieser Zeit in einem dunkeln, ungeheizten Raum (Scheune) untergebracht gewesen.

Tab. 24: Fettsäurezusammensetzung von Quinoa „Bär II“ bei einer Lagerzeit von 18 Monaten (in % des Gesamtfettgehaltes bzw. relativ \*)

Fettsäuren	Ausgangswert	nach 18 Monaten	
		absolut	relativ
Myristinsäure	0,3	0,3	100
Palmitinsäure	8,7	9,2	106
Palmitoleinsäure	0,1	0,1	100
Stearinsäure	0,4	0,4	100
Ölsäure	14,7	15,2	103
Vaccensäure	1,0	1,4	140
Linolsäure	59,8	59,7	99
$\alpha$ -Linolensäure	6,5	6,1	94
Arachinsäure	0,3	0,3	100
<sup>11</sup> -Eicosensäure	1,0	0,9	90
Behensäure	0,5	0,4	80
Erucasäure	1,4	1,2	86
Nervensäure	0,2	0,2	100
Squalen	2,7	2,5	92
gesättigte Fettsäuren	10,2	10,6	104
einfach ungesättigte Fettsäuren	18,4	18,9	103
mehrfach ungesättigte Fettsäuren	66,3	65,8	86

\*) in einem ungeheizten Lagerraum (Scheune)

Innerhalb dieses Zeitraumes hatte der Gehalt an gesättigten Fettsäuren lediglich von 10.2 auf 10.6 % zugenommen; überwiegend als Palmitinsäure. Aber auch die einfach ungesättigten Fettsäuren (Ölsäure) sind leicht angestiegen. Der Gehalt der als sehr empfindliche bekannten  $\alpha$ -Linolensäure nahm dabei nur um 6 % ab (Tab. 24), der Linolsäuregehalt blieb sogar konstant. Damit bestätigt sich bekannte Erfahrung, daß man ganze Körner selbst über einen längeren Zeitraum bedenkenlos lagern kann; Voraussetzung ist allerdings, daß nicht durch Feuchte eine mikrobielle Veränderung eintritt.

## 4.6 Wichtige Begleitstoffe pflanzlicher Öle

Neben den Gehalten an Fettsäuren sind in Pflanzenölen auch noch deren Nebenbestandteile bzw. anderen Eigenschaften wichtig und bestimmen die Eignung für spezifische Nutzungen. Für Speiseöle sind das Temperaturverhalten und der Geschmack von Bedeutung, während für kosmetische und therapeutische Anwendungen weitere Ölbestandteile berücksichtigt werden müssen. Für industriell genutzte Öle spielen physikalische Eigenschaften, z.B. Viskosität, eine große Rolle; ausreichend und jederzeit verfügbare Mengen sowie gleichbleibende Qualität sind in jedem Falle Voraussetzung einer praktischen Bedeutung am Markt.

Eine Übersicht, welches Öl welche Vitamine und Begleitstoffe enthält, gibt Tabelle 25. Die Daten - mit Ausnahme der Fettsäuren und des Vitamin E - sind der Literatur entnommen. Eine Vollständigkeit der Inhaltsstoffe ist allerdings nicht möglich, da das Interesse an Fettbegleitstoffen (52,53) erst seit einigen Jahren besteht und bislang nur wenig Untersuchungen vorliegen.

Öl- und/oder Linolsäure sind in fast allen Ölen in großen Mengen enthalten. Seltener Fettsäuren wie  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Linolensäure oder Palmitoleinsäure, kommen nur in wenigen Ölen in nennenswerten Mengen vor. Daß Pflanzenöle die Vitamine A, D, K und vor allem E enthalten, liegt in der Natur der Sache („fettlösliche Vitamine“). Allerdings unterscheiden sich die einzelnen Pflanzenarten auch diesbezüglich ganz erheblich (Tab. 25). Bei den aufgeführten Vitaminen (54) handelt es sich neben Vitamin E um die fettlöslichen Vitamine A, D und K sowie die wasserlösliche B-Gruppe.

Bis auf zwei Ausnahmen - Kokosöl und Tabaköl - wurden in allen Ölen nennenswerte Mengen an Vitamin E gefunden. Die anderen Öle enthalten die Vitamine in sehr unterschiedlichen Mengen: als besonders vitaminreich sind Walnuß- und Avocadoöl anzusehen; aber auch Kürbiskern und Soja enthalten noch mehrere Vitamine. Ein Zusammenhang zwischen Vitamingehalt und Fettsäurezusammensetzung jedoch besteht nicht. Dies gilt auch für alle anderen Komponenten.

Neben diesen Bestandteilen enthalten Pflanzenöle noch eine Vielzahl anderer Verbindungen. Darunter fallen Aminosäuren, wie das Cucurbitin in Kürbiskernöl oder etherische Öle wie das Nigellon in Schwarzkümmel. Vereinzelt finden sich auch Squalen, Chlorophyll, Saponine oder Schleimstoffe in den Ölen. Dies gilt aber nur dann wenn es sich um naturbelassene Öle handelt. Bei raffinierten Ölen wird ein großer Teil dieser Verbindungen entfernt oder zerstört. Der therapeutische und ernährungsphysiologische Nutzen der Öle hängt somit auch von ihrer Herstellung ab.

Carotinoide sind wirksame Antioxidantien; sie ähneln in ihrer Wirkung dem Vitamin A. Neben dem bereits genannten Avocadoöl ist es auch in Lein- Sonnenblumen- und einigen

Sonderölen (Sanddorn, Traubenkern, Schwarzkümmel) enthalten. Die Flavonoide gehören zur Gruppe der Phytophenole (55). Es handelt sich dabei um zumeist gelbe Pflanzenfarbstoffe. Ein wichtiger Vertreter dieser Gruppe ist das Procyanidin, eines der stärksten bekannten Antioxidantien, das in Traubenkernöl zu finden ist.

Tab. 25: Gehalte an Vitaminen und anderen Begleitstoffen in Pflanzenölen

	Vitamine					andere Begleitstoffe									Sonstiges
	A	B	D	E	K	Lecithin	Carotinoide	Flavonoide	Phyto-sterine	Phyto-östro-gene	Amino-säuren	Squa-len	Chlo-ophyll	Mineral-stoffe	
Aprikosenkern				•											
Avocado	•	•	•	•		•	•		•			•			Biotin
Borretsch				•				•						•	Proteine
Distel *	•			•	•										
Erdnuß				•										•	
Hanf				•											
Haselnuß			•	•					•						Proteine
Königskerze				•											
Kokos									•						Lactone
Kürbiskern	•	•		•			•		•		•		•	•	
Leinsamen		•		•		•				•				•	Saponine
Lorbeer				•											
Macadamia	•	•		•										•	
Mandel	•	•		•										•	Saponine, Proteine
Mohn		•		•	•										
Nachtkerze				•											
Olive	•			•	•	•	•	•				•	•	•	
Pistazie				•											
Raps	•			•	•	•									
Rizinus				•											
Sanddorn				•			•	•	•						
Schwarzkümmel	•			•			•		•						etherische Öle
Sesam		•		•	•	•	•		•	•				•	
Soja	•	•		•		•	•		•	•				•	
Sonnenblumen *	•			•		•	•		•	•					
Tabaksamen															
Traubenkern				•	•	•		•							
Walnuß	•	•		•	•									•	
Weizenkeim		•		•				•						•	
Wildrose	•	•		•			•	•							

Phytosterine weisen chemisch gesehen eine ähnliche Struktur wie Cholestrin auf, ohne dessen schädliche Wirkungen zu haben. Sie sind in einer Reihe von Pflanzenölen enthalten. Zur Gruppe der Phytoöstrogene zählt man Lignane und Isoflavonoide. Bekannt ist Sesamin, ein Antioxidans, das in Sesamöl zu finden ist. Viele Öle enthalten auch Mineralstoffe und Spurenelemente, wenngleich diese in der Ernährung gegenüber den Gehalten in anderen Pflanzenteilen (Blätter, Stengel usw.) untergeordnete Bedeutung haben. Traubenkernöl enthält das Flavonoid Prozyanidin. Dieses gilt als besonders guter Radikalfänger. Seine Wirkung übertrifft die des Tocopherols um das 50fache.

Auffallend ist, daß ein hoher Anteil an Palmitoleinsäure nur bei Ölen mit Ölsäure als Hauptkomponente gefunden wird. Gleiches findet man für  $\gamma$ -Linolensäure und Linolsäure. Während man  $\alpha$ -Linolensäure sowohl bei Ölen mit Ölsäure als auch mit Linolsäure als Hauptkomponente findet.

Von allen Begleitstoffen ist lediglich Lezithin als Rohstoff in der Nahrungsmittelindustrie von nennenswerter Bedeutung. Lezithin wird vor allem bei den klassischen, kaltgepressten Speiseölen gefunden; dies kann aber auch daran liegen, daß andere Öle noch nicht besonders gut untersucht sind.

## 4.7 Verwendungszwecke pflanzlicher Öle

Die Hauptverwendungszwecke von Pflanzenölen sind ihr Einsatz als Nahrungsmittel (Küche) oder die äußerliche Anwendung in der Kosmetik und Naturheilkunde (Tab. 26). Der Einsatz zu therapeutischen Zwecken sei der Vollständigkeit halber erwähnt, soll jedoch nicht näher behandelt werden.

Tab. 26: Einsatzmöglichkeiten von Pflanzenölen in der Küche und zur Körperpflege

Ölart	Küche					äußerliche Anwendung					
						Kosmetik			therapeutisch		
	kalte Küche	Dünsten	Braten	Frittieren	als Gewürz	Hautpflege	Haarpflege	Grundstoff	schmerzlindernd	zellregenerierend	entzündungshemmend
Aprikosenkern	•					•					
Avocado	•	•	•			•	•	•	•	•	
Borretsch					•	•		•	•		
Distel *	•	•				•		•			
Erdnuß	•	•	•	•		•		•			
Hanf	•	•				•		•			
Haselnuß	•	•	•		•	•		•			
Kokos			•	•		•					
Kürbiskern	•				•				•		
Leinsamen	•								•	•	•
Lorbeer									•		•
Macadamia	•	•	•			•	•			•	
Mandel	•					•	•	•	•		
Mohn	•	•									
Nachtkerze											
Olive	•	•	•			•	•		•	•	•
Pistazie	•					•					
Raps	•	•	•								
Rizinus						•	•	•		•	•
Sanddorn						•				•	
Schwarzkümmel					•						
Sesam	•	•	•		•	•			•	•	
Soja	•	•	•	•		•				•	
Sonnenblumen *	•	•	•	•		•			•		
Tabaksamen	•										
Traubenkern	•	•				•		•			
Walnuß	•				•		•		•		
Weizenkeim	•					•		•		•	
Wildrose						•				•	

Abgesehen von einigen Spezialölen (z.B. Lorbeer, Rhizinus, Nachtkerze, Sanddorn und Wildrose) eignen sich die meisten Pflanzenöle als Speiseöl. Dabei überwiegt ihr Einsatz in der kalten Küche, sofern sie bei üblichen Temperaturen flüssig sind. Öle mit einem hohen Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren sollten grundsätzlich nur kalt benutzt werden. Für die Verwendung zum Dünsten, Braten oder gar Frittieren sollten nur raffinierte Öle bzw. von ausgewählten Pflanzen eingesetzt werden (Erdnuß, Kokos, Soja).

Manche Öle weisen einen mit starken Eigengeschmack auf; sie lassen sich bevorzugt zum Würzen der Speisen oder nur in geringen Mengen benutzen (Borretsch, Schwarzkümmel, Hanf, Kürbiskern).

Bei der äußerlichen Anwendung kann man den Bereich der Kosmetik und den der therapeutischen Einreibungen unterscheiden. Man kann Öle direkt als Haut- oder Haarpflegemittel verwenden oder sie als Grundstoff zur Herstellung von kosmetischen Produkten benutzen. Einzelne Öle wirken schmerzlindernd, entzündungshemmend oder zellregenerierend. Sie helfen bei Sonnenbrand, Narbenbildung, Entzündungen, Hautausschlägen usw.

Neben den genannten Verwendungsmöglichkeiten gibt es eine Anzahl technischer Anwendungen (59), auf die in dieser Arbeit aber ebenfalls nur am Rande eingegangen werden soll. In der Nahrungsmittelindustrie dienen Pflanzenöle als Rohstoff zur Margarineherstellung. Dies gilt vor allem für Sonnenblumen-, Raps-, Soja- und Erdnußöl. Distelöl wird zur Herstellung von Diätmargarinen benutzt. Aus Rapsöl lassen sich z. B. auch Biodiesel und Schmierstoffe herstellen, Leinöl ist ein gesuchter Grundstoff der Farbenherstellung und die High-Oleic Sorten der Sonnenblumen finden in der Oleochemie Verwendung.

Die in der Naturheilkunde beobachteten Wirkungen der Pflanzenöle sind sehr unterschiedlich (Tab. 27). Einige Pflanzenarten (Lein, Olive, Sesam) haben sehr breit gestreute Wirkungen. Andere hingegen haben sehr begrenzte, spezielle Wirkungen z.B. Kürbiskern auf Nieren und Blase, Sanddorn auf die Haut, Raps oder Traubenkern auf Herz und Kreislauf. Viele Öle wirken dagegen auf einige Organe in gleicher Weise, z.B. auf Herz/Kreislauf oder auf die Haut.

Tab. 27: Wirkungen von Pflanzenölen in der Naturheilkunde

	Magen Darm	Herz Kreislauf	Leber Galle	Atem wege	Haut	Stoff wechsel	Immun system	Depress ionen	Rheuma	Nieren Blase
Borretsch		•			•		•	•		
Distel *		•			•	•				
Hanf	•	•			•		•	•		
Kürbiskern										•
Leinsamen	•	•	•	•	•	•			•	
Mandel	•			•						
Nachtkerze		•	•		•					
Olive	•	•	•	•	•	•				
Raps		•								
Rizinus	•									
Sanddorn					•					
Schwarzkümmel	•			•	•				•	•
Sesam	•	•			•	•	•	•	•	
Soja	•	•					•			
Sonnenblumen *		•		•	•		•			
Traubenkern		•								
Walnuß			•	•		•				
Weizenkeim		•			•		•			

## 5 Zusammenfassung

Die Untersuchung der Fettsäure- und Tocopherolgehalte einer großen Zahl von Pflanzenölen, sowie die Prüfung der Erhitzung und Lichteinwirkung auf Veränderungen der Zusammensetzung erbrachte folgende Ergebnisse:

1. Pflanzenöle enthalten im Gegensatz zu tierischen Fetten überwiegend ungesättigte Fettsäuren (Omega-Fettsäuren), ihr Anteil beträgt oftmals über 80 %. Demgegenüber sind gesättigte Fettsäuren in der Regel zu weniger als 20 % vertreten (Ausnahme: Avocadoöl). Eine Sonderstellung nimmt Kokosöl ein, das zu über 95% aus gesättigten Fettsäuren besteht. Die am häufigsten vorkommenden Arten sind Palmitinsäure (gesättigt), Ölsäure (einfach ungesättigt) sowie Linol- und Linolensäuren (mehrfach ungesättigt). Das Verhältnis zueinander - vor allem von Öl- und Linolsäure - kann sehr unterschiedlich sein.
2. Die Nutzung von Pflanzenölen an Stelle tierischer Fette leistet einen wesentlichen Beitrag zur notwendigen Versorgung mit mehrfach ungesättigten Fettsäuren in der menschlichen Ernährung. Mehrfach ungesättigte Fettsäuren sind ansonsten nur in wenigen Nahrungsmitteln tierischer Art (bestimmte Fische) in ausreichenden Mengen enthalten
3. Pseudocerealien (Amaranth, Quinoa) enthalten 4 - 8 % Öle, die in ihrer Zusammensetzung mit denen von klassischen Ölpflanzen vergleichbar sind. Sie alleine können allerdings bei einseitiger tierischer Kost kein vollwertiger Ausgleich sein.
4. Pflanzenöle stehen für den täglichen Gebrauch als Speiseöl in großer Auswahl zu Verfügung. Bei Ölen mit einem hohen Anteil an einfach ungesättigten Fettsäuren dominiert die Ölsäure. Ihr Anteil liegt für Olivenöl bei etwa 70 %, für Haselnußöl sogar bei über 75 %. Eine andere Gruppe an Pflanzenölen enthält Linolsäure, eine zweifach ungesättigte Fettsäure, als Hauptkomponente. Dazu gehören Sonnenblumenöl (66,8%), Hanföl (56,4) und Distelöl (79%). Den höchsten Anteil einer dreifach ungesättigten Fettsäure weist Leinöl auf; es enthält 54 %  $\alpha$ -Linolensäure. Kaltgepreßte Öle werden bevorzugt in der „kalten Küche“ zum Verfeinern und Würzen der Speisen eingesetzt. Zum Dünsten, Braten oder Frittieren eignen sich einige Sonderöle (Kokos, Erdnuß Soja) oder raffinierte Öle.
5. Ungesättigte Fettsäuren unterliegen im Verlauf einer längeren Lagerung gewissen Oxidationsprozessen. Zu lange Lagerzeit, Lichteinwirkung, aber vor allem Sauerstoffkontakt führt zum Ranzigwerden der Öle. Je mehr ungesättigte Verbindungen eine Fettsäure hat, desto deutlicher macht sich dieser Effekt bemerkbar. Ein hoher Tocopherolgehalt kann das Öl über längere Zeit, auch wenn es hell und bei Raumtemperatur gelagert wird, vor Oxidation schützen, jedoch nicht bei ständigem Sauerstoffkontakt.



6. Der Einfluß der Temperatur auf die Fettsäureverteilung bleibt bis etwa 150 °C sehr gering. Bei Hanföl sinkt der  $\alpha$ -Linolensäuregehalt von 19,3 % nur auf 18,9 %. Erst bei einer Temperaturerhöhung um weitere 100 °C fällt der Wert deutlich ab; der Linolsäuregehalt bleibt dabei unverändert.
7. Der Gehalt an Tocopherol ist neben der Zusammensetzung an Fettsäuren ein weiteres, wichtiges Kriterium der Qualität von Pflanzenölen. Der Gehalt bei kaltgepreßten, d.h. unveränderten Ölen, kann in einen weiten Bereich schwanken: Weizenkeimöl enthält als Spitzenwert nahezu 200 mg/100 g Öl; Pflanzen aus wärmeren Klimazonen (Oliven, Pistazien, Avocado, Macadamia) enthalten gelegentlich weniger als 20 mg/100g. „Hochwertige Speiseöle“ enthalten 50-100 mg Tocopherol/100 g Öl. Von den vier möglichen Tocopherolen überwiegen die  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Form.
8. Der Gehalt an Tocopherol fällt unter dem Einfluß der Erhitzung sehr rasch ab; 100 °C sind eine Grenze für eine vollständige Zerstörung. Erst wenn das Tocopherol abgebaut ist, steigt die Gefahr einer Veränderung der Fettsäuren.
9. Einige Pflanzenöle können sehr gut zu kosmetischen oder therapeutischen Nutzungen eingesetzt werden. Sie enthalten seltene Fettsäuren, Vitamine oder andere für den Organismus wichtige Wirkstoffe. Die  $\gamma$ -Linolensäure ist z.B. nur in Hanföl (2,8 %), Nachtkerzenöl (10 %) und Borretschsamenöl (21 %) enthalten. Die ebenfalls in Pflanzenölen seltene Palmitoleinsäure kommt in Avocadoöl (9,8 %), Sanddornöl (10 %) und Macadamiaöl (19 %) vor.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Becht S.; Legath J. 1997: Das große Buch vom Öl: AT-Verlag, Aarau
2. Maurer K. 1998: Pflanzenöl, Mehrkomponentenkraftstoffe und Wasser-Emulsionen im Vergleich zu Biodiesel: Infoschrift der Universität Hohenheim
3. Hagen M. 1996: Neue Entwicklungen bei Pflanzenölen: Raps 1 /96
4. Warwel S. 1996: Pflanzenöle in Chemie und Technik: Forschungsreport Ernährung-Landwirtschaft-Forsten 2/1996 (14)
5. Bässler K.H.; Grün E.; Loew D.; Pietrik K. 1992: Vitaminlexikon: Gustav Fischer Verlag, Jena , New York
6. Naturheilkundlexikon 1999 MZ-Verlag Harald Schicke
7. Fette und Öle: 1998: Landesstelle für landwirtschaftliche Marktkunde / Schwäbisch Gmünd: Infothek für die landwirtschaftliche Beratung in Baden-Württemberg
8. Braunschweig, R. v. 1998: Pflanzenöle: Gräfe und Unzer Verlag, München
9. Basisinformation: Fettverderb: Margarineinstitut für gesunde Ernährung: [www.margarine-institut.de](http://www.margarine-institut.de)
10. Kerschbaum, S; Schweiger P. 2000: Rohfettgehalt und Fettsäurezusammensetzung verschiedener Pflanzenöle Sonderheft 1/2000 LAP Forchheim
11. Siegel, H. 1997: Solid-Fluid Wirbelstrom-Serienextraktionsverfahren: GIT- Laborfach-zeitschrift 41 (5), 468-487
12. Siegel H. 1998: Applikationserfahrungen mit dem Fexlka 200 Control-Serien- Feststoff-extraktor
13. Matthäus, B.; Bruhl, L. 1999: Vergleich eines neuen Feststoff-Wirbelstrom-Extraktions-verfahren: GIT-Labor-Fachzeitschrift 2/99
14. Matthäus B. 1998: Neue Methode zur Bestimmung des Ölgehalts von Ölsaaten: BIO-forum 1-2/98
15. Rasig M., Seith B., Schweiger P. 1999: Extraction of oils of hemp seed and analysis of the content of fatty acids in hemp oil : SÖFW-Journal 125 1/99
16. Merck Index 1961: Merck AG Darmstadt
17. Markley K.S. (Ed.) 1960: Fatty Acids- Their Chemistry, Properties and Uses, Part 1. Interscience Publisher Inc. New York
18. Deppeler M.: Fettsäuren und Ölsäuren: <http://www.pflanzenoel.ch>
19. Kindt M. Die Bedeutung von trans-Fettsäuren in der menschlichen Ernährung: [www.stud.uni-giessen.de](http://www.stud.uni-giessen.de)
20. Konjugierte Linolsäuren-das Wunderfett der Zukunft: pdm: Aktuelle Information: Margarine-Institut für gesunde Ernährung: <http://www.margarine-institut.de>
21. Volkmann P.H.: Patientenratgeber: VBN Verlag Lübeck
22. Roth, Kornmann 2000: Ölpflanzen - Pflanzenöle: ECO-Med Verlagsgesellschaft
23. Römp: 1997: Chemielexikon: Thieme Verlag, Stuttgart
24. Erasmus; U. 1995: Fats that heal, Fats that kill: Alive Books, Vancouver (Canada)
25. Isler O., Brubacher G. 1982: Vitamine I - fettlösliche Vitamine Thieme Verlag Stuttgart
26. Diplock A.T. (Ed.) 1985: Fat Soluble Vitamins - Their Biochemistry and Applications Heinemann Verlag London
27. Basisinformation: Vitamin E: Margarineinstitut für gesunde Ernährung: <http://www.margarine-institut.de>
28. Basisinformation: Antioxidantien: Margarineinstitut für gesunde Ernährung: <http://www.margarine-institut.de>
29. Hellmiß M., Scheithauer F. 1998: Natürliche Stoffbalance Pflanzenöl Südwest Verlag GmbH München

30. Messing N. 1998: Praxisbuch der heilenden Öle Verlag Peter Erd München
31. Munzing-Ruef I. 1997: Kursbuch gesunde Ernährung: Verlag Zabert-Sandmann, München
32. Tebel-Nagy C. 1998: Praktisches Kursbuch gesunde Ernährung Weltbild Verlag GmbH Augsburg
33. Delikatesse Olivenöl Gesund für Herz und Kreislauf, Hobbytip Nr. 286  
<http://www.hobbythek.de/archiv/286/>
34. Reuter, L.B. 1999: Gold des Nordens: Raps 17 (1) 1999
35. Wahrburg, U. 1999: Rapsöl in der Ernährung: Raps 17 (1) 19994
36. Nature Ölbeschreibung Mandelöl: [http:// www.nature.de/artikel/fettoel/descript/f011b.htm](http://www.nature.de/artikel/fettoel/descript/f011b.htm)
37. Aprikosenkernöl kaltgepresst: [http:// www.bombastus.de/germen/s07/u003.htm](http://www.bombastus.de/germen/s07/u003.htm)
38. Nature Ölbeschreibung Avocadoöl: [http:// www.nature.de/artikel/fettoel/descript/ f003b.htm](http://www.nature.de/artikel/fettoel/descript/f003b.htm)
39. Dapper H. Altes und Neues von Sanddorn: [http://www.naturheilkunde-online.de/ Fachartikel/fach-02-006.htm](http://www.naturheilkunde-online.de/Fachartikel/fach-02-006.htm)
40. Nature Ölbeschreibung Distelöl: [http:// www.nature.de/artikel/fettoel/descript/f005b.htm](http://www.nature.de/artikel/fettoel/descript/f005b.htm)
41. Lindemann K.; Finck M. 1996: „high oleic“ Sonnenblumen: Raps 2 /96
42. Seith, B.; Stolzenburg K.; Mastel, K. 1998: Untersuchungen zur Qualität von Hanfkörnern und Hanföl: LAP Forchheim
43. Theimer R.R.; Mölleken H. 1995: Ergebnisse der Hanfölanalytik- Nutzungsmöglichkeiten: in Biorohstoff Hanf, Bioresource Hemp, Nova Institut (Hrsg.): Reader zum Symposium Frankfurt 2.3.- 5.3. 1995
44. Höppner F., Menge- Hartmann U.: Hanf - alte Kulturpflanze mit neuen Chancen?  
<http://www.bml.de/forschungsreport/rep2-96/hanf.htm>
45. HanfHaus News Archiv: <http://www.hanfhaus.de/news/Archiv/HHF120297.html>
46. Inhaltsstoffe Kürbiskernöl: <http://www.sicherkeller.at/chart.htm>
47. Nergiz C., Ötles S. 1993: Chemical composition of *Nigella sativa* L. seeds: Food Chemistry 48 (1993) 259-261
48. Sesam: <http://www.provita-naturkost.de/warenkunde/sesam.htm>
49. Pfendner J. 1997: Mehr Power durch Nachtkerzenöl: Urania Verlag, Berlin
50. Schöpke T. Ricini oleum <http://pharm1.pharmazie.uni-greifswald.de/systematik/6-droge/ric-oleu.htm>
51. Rizinus- Ricinus communis <http://www.med-online.de/natap/ri-commu.htm>
52. Hänsel R. 1980: Pharmazeutische Biologie Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
53. Habermehl G., Hammann P.E. 1992 Naturstoffchemie Springer-Verlag Berlin
54. Vitaminecke <http://www.medcom.ch/deutsch/wellnessd/nutricom/vitaminecke.htm>
55. Bitsch R. 1996: Pflanzenphenole und ihre gesundheitliche Wirkung Naturw. Rundschau 49 /2
56. Nahrungsfette in der kalten und warmen Küche <http://www.margarine-institut.de/stichwörter/nahrungsfette.htm>
57. DGE-Info: Speisefette und ihre Verwendung in der Küche [http://www.dge.de/Pages/navigation/fach\\_infos/bp0899.htm](http://www.dge.de/Pages/navigation/fach_infos/bp0899.htm)
58. Öle und Fette <http://www.members.vienna.at/milchk/oelfette.htm>
59. Pflanzliche Öle und Fette [http:// www.inaro.de/deutsch/rohstoff/industrie/ oel\\_fett /cmaoel.htm](http://www.inaro.de/deutsch/rohstoff/industrie/oel_fett/cmaoel.htm)