

Aus dem physiologisch-chemischen Institut der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz
(Direktor: Prof. Dr. Dr. K. Lang)

Ernährungsphysiologische Eigenschaften von Rotbarschöl

I. Mitteilung: Untersuchungen über die Ausnützung und den Stoffwechsel

Von A. FRICKER, B. SCHMIDT und K. LANG

Mit 1 Abbildung in 2 Einzeldarstellungen und 5 Tabellen

(Eingegangen am 12. Mai 1964)

I. Einleitung

Ein Fett, zu dessen Charakteristika ein hoher Gehalt an Polyensäuren gehört, ist das Körperöl von Fischen. Diese Fischöle unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung wesentlich von anderen tierischen und pflanzlichen Fetten und zwar:

1. In der Fettsäurezusammensetzung. Am auffallendsten ist, wie eben erwähnt, ihr hoher Gehalt an hochungesättigten Fettsäuren, hauptsächlich vom Linolensäuretypus, und zwar sind insbesondere Tetraen-, Pentaen- und Hexaensäuren in ungewöhnlichem Ausmaß enthalten. Polyensäuren der Linolensäurereihe sind nur in relativ geringem Umfang vorhanden [TOYAMA, SHIMOOKA, IWATA und FUJIMURA (1)]. Daneben sind erhebliche Mengen an Monoensäuren mit 10–24 C-Atomen gefunden worden. Eine Übersicht über die bisher in Fischölen gefundenen ungesättigten Fettsäuren hat JEKAT (2) gegeben. Neuere Untersuchungen sind von KLENK und Mitarb. publiziert worden.

2. Im Gehalt an fettlöslichen Vitaminen. So sind sie oft reich an Vitamin A, manchmal auch an Vitamin D, letzteres hauptsächlich in den Leberölen. Der Gehalt an Tokopherolen wird dagegen generell als niedrig angegeben.

3. Im Gehalt an Unverseifbarem. Insbesondere die Leberöle enthalten manchmal bis zu 50 und mehr Prozent an unverseifbaren Verbindungen, aber auch für die Körperöle sind schon hohe Werte gefunden worden.

Über die Literatur zur Zusammensetzung von Fischölen wurde in einer früheren Publikation ausführlicher berichtet [FRICKER (3)].

II. Ernährungsphysiologische Eigenschaften von Fischölen

Die Fischöle unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Eigenschaft als Kalorien-träger nicht von anderen Fetten. Ihre eigenartige Zusammensetzung führt aber zu einigen sonstigen ernährungsphysiologisch interessanten Aspekten, wie z. B.:

1. Hoher Polyensäuregehalt bei niedrigem Gehalt an essentiellen Fettsäuren.

2. Hoher Polyensäuregehalt bei geringen Mengen an Tokopherolen. Ein Mangel an letzteren führt einerseits zu einer hohen Oxydationsempfindlichkeit des Fettes an sich, andererseits ist durch zahlreiche Untersuchungen, wie z. B.

*) Dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten danken wir für die finanziellen Unterstützung.

von HORWITT (4), von WEBER, GLOOR und WISS (5) gezeigt worden, daß ein Zusammenhang zwischen dem Vitamin-E-Bedarf und der Menge an zugeführten essentiellen Fettsäuren besteht, der wohl auch angenommen werden darf, wenn an Stelle der essentiellen Säuren sonstige Polyensäuren in der Nahrung vorhanden sind. Vitamin E hat im Körper auch rein antioxydative Aufgaben zu erfüllen [siehe z. B. DAM (6)]. Die Höhe des E-Bedarfs dürfte ganz allgemein von der Höhe der Zufuhr an Polyensäuren und zwar wohl weitgehend von der „Menge“ an Doppelbindungen, die insgesamt mit dem Nahrungsfett in den Körper gelangen, abhängen. Siehe auch MACHLIN (7).

3. Hoher Gehalt an Vitamin A bei geringem Tokopherolgehalt. Allein schon der manchmal extrem hohe Gehalt der Fischöle an Vitamin A an sich wirkt, insbesondere bei langdauernder Verfütterung, ernährungsphysiologische Fragen auf [siehe z. B. NIEMAN und OBBINK (8) und LANG (9)]. Weiterhin bestehen zwischen den Vitaminen A und E gewisse Wechselbeziehungen, z. B. bezüglich der durch Vitamin A-Überschuß bewirkten Hämolyse, die durch Tokopherol verhindert werden kann [DINGLE und LUCY (10)].

Wenn man die relativ geringen Vitamin E-Gehalte der Fischöle für sich betrachtet, so könnte allein schon deswegen mit physiologischen Wirkungen dieser Öle im Sinne von E-Mangelsymptomen gerechnet werden, wie Versuche von MOORE und SHARMAN (11) mit Lebertran zeigten.

4. Gehalt an unverseifbaren Stoffen.

Die ernährungsphysiologischen Eigenschaften von Fischölen mit viel unverseifbaren Stoffen sind in entsprechendem Umfang auch dadurch bestimmt. Über die Wirkung einzelner solcher Stoffe wie z. B. des Kohlenwasserstoffes Squalen, des Cholesterins, der Carotinoide usw., ist man weitgehend orientiert, über die physiologischen Eigenschaften anderer, ebenfalls z. T. in erheblichen Mengen vorhandener Substanzen, wie ungesättigte und gesättigte Fettalkohole, und insbesondere Glyceryläther [SWAIN (12)] ist man gegenwärtig praktisch nicht unterrichtet.

5. Blutcholesterinsenkende Wirkung der Fischöle.

In den letzten Jahren wurde dem Gehalt des Blutes an Cholesterin sehr viel Aufmerksamkeit zugewendet, da Zusammenhänge mit dem gehäuften Auftreten von arteriosklerotischen Erkrankungen vermutet werden. Inwieweit diese Vermutungen begründet sind, ist auch bis heute noch nicht restlos geklärt. Es soll hier auf diese Dinge nicht weiter eingegangen werden, sondern nur auf das Buch „Arteriosklerose (Ätiologie, Pathologie, Klinik und Therapie)“ von G. SCHETTLER (13) und die Arbeit von BÖHLE (14) hingewiesen werden, worin eine umfangreiche Literatúrauswertung auf diesem Gebiet enthalten ist. Von den Fischölen ist bekannt, daß sie eine starke Senkung des Blutcholesteringehaltes bewirken können. Weitere Angaben zur Ernährungsphysiologie der Fischöle siehe z. B. (15) bis (20).

Fischöle stellen also ein sehr interessantes Substrat für den Ernährungsphysiologen dar. Dazu kommt, daß infolge der großen Zahl von Doppelbindungen in Fischölen bei gleichzeitig relativ geringem Gehalt an Antioxydantien (Tokopherolen), dieses Fett sehr oxydationsempfindlich ist [siehe z. B. OLCOTT (21)]. Es können also bei der Lagerung und Herstellung von Fischölen und auch bei der Aufbewahrung von Fischen als solchen im Fischfett oxydative Veränderungen eintreten, die ernährungsphysiologisch bedeutsam sind. Hierbei muß

man zwischen der durch Peroxyde hervorgerufenen Toxizität und der Wirkung von Oxypolymeren und sonstigen Folgeprodukten der Peroxydzersetzung, die hauptsächlich bei der Autoxydation bei hohen Temperaturen entstehen, unterscheiden. Siehe z. B. LASSEN, BACON und DUNN (22).

Die physiologische Wirkung von Ölen mit erhöhter Peroxydzahl, die im Rahmen unserer Untersuchungen am meisten interessierte, beruht nach allgemeiner Auffassung auf den bei der Autoxydation bei niedrigen Temperaturen entstehenden Fettsäureperoxyden bzw. Hydroperoxyden. (Folgeprodukte, die ebenfalls entstehen können [LOURY und LECHARBER (24)] dürften aber daneben auch eine gewisse Rolle spielen).

Über Einzelheiten zur akuten Toxizität definierter Peroxyde bzw. autoxydierter Polyensäuren mit hoher Peroxydzahl bei parenteraler und oraler Applikation wurde an anderer Stelle berichtet [LANG, FRICKER, KIECKEBUSCH und GRIEM (26)]. Siehe auch DESAI und TAPPEL (25).

Über die Ausnützung bzw. Resorption von Fischölen sind bis jetzt in Deutschland noch keine Publikationen erschienen. Die sonstigen üblichen Nahrungsfette werden im allgemeinen zu etwa 95–98% resorbiert, der Rest verläßt den Körper mit dem Kot. Bei bestimmten Fetten und insbesondere nach chemischer Veränderung der Fette kann die Resorption aber auch geringer sein. So fanden DEUEL und Mitarb. zitiert nach LANG (9), daß ein Schweineschmalz mit einem Schmelzpunkt von 48° zwar noch zu 94% resorbiert wurde, ein hydriertes Produkt mit einem Schmelzpunkt von 61° aber nur noch zu 21%. Untersuchungen von LANG und Mitarb. (27) mit epoxydiertem Sojaöl ergaben eine Verschlechterung der Resorption mit zunehmendem Gehalt an Epoxyden und zunehmender Dauer der Fütterungsversuche. Bei Versuchen mit bei hoher Temperatur autoxydiertem Sojaöl zeigte sich in anderen Versuchen (28), daß der Fettgehalt des Kotes mit steigender Oxydationszeit der Öle bis zu einem Maximum von 45% zunahm.

Es besteht also ein Zusammenhang zwischen der Art des verfütterten Fettes bzw. dessen chemischen Veränderungen und der Resorption im Körper. Die tatsächlich eingetretene „wahre“ Ausnützung wird selten bestimmt, da dies nur über markierte Fette möglich ist. In den meisten Fällen ermittelt man die sogenannte „scheinbare“ Ausnützung von Fetten, die aus dem Gehalt des Kotes an Fett und der aufgenommenen Fettmenge errechnet wird. Eine Fettausscheidung über den Urin findet ja praktisch nicht statt. Man spricht deswegen von „scheinbarer“ Ausnützung, weil bei der Kotfettbestimmung auch Fett aus Darmbakterien, aus desquamierten Epithelzellen und in den Darm sezerniertes Fett miterfaßt wird.

Aus den angeführten Überlegungen heraus erschien es uns wünschenswert, mit in Deutschland hergestelltem Fischöl einige Tierversuche durchzuführen. Hierbei war unseres Erachtens auch besonderer Wert auf die Untersuchung von leicht anoxydiertem Fischöl zu legen, denn über die physiologische Wirkung von hochoxydierten Ölen herrscht bereits weitgehend Klarheit (26). Weiterhin hielten wir eine möglichst lange Versuchsdauer unter Einbeziehung mehrerer Generationen von Ratten (nach den Grundsätzen der FAO und WHO) für unumgänglich, da es sich bei den bisher bekannt gewordenen Untersuchungen stets um relativ kurzfristige Versuche handelt. Wir wählten als Substrat für unsere Versuche reines Körperöl von Rotbarsch (*Sebastes marinus*). Dieses Öl erschien uns deswegen als geeignet, weil es für deutsche Verhältnisse relativ

frisch in ausreichenden Mengen und praktisch gleichbleibender Qualität das ganze Jahr über zu erhalten war. Auch besteht etwa die Hälfte der deutschen Fischölproduktion aus diesem Öl.

Einen Teil des reinen, frischen Rotbarschöles oxydierten wir jeweils auf eine Peroxydzahl von etwa 50. Diese Peroxydzahl wurde gewählt, weil nach den Mitteilungen von ANDREWS, GRIFFITH, MEAD und STEIN (29) ein bei 60° auf POZ 100 aufoxydiertes Sojaöl im kurzfristigen Versuch (70 Tage) keinerlei nachteilige Auswirkungen hatte, andererseits auch bei ungünstigen Lagerungs- und Herstellungsbedingungen solch hohe Peroxydzahlen wohl kaum auftreten dürften. Eine POZ von 50 schien uns ein günstiger Mittelwert in dem Sinne zu sein, daß wohl eine akute Toxizität eines solchen Öles nicht zu erwarten war, beim langfristigen Versuch aber durchaus gewisse Wirkungen möglich erschienen, während infolge der großen Oxydationsempfindlichkeit der Fischöle die Peroxydzahlen im Einzelfall doch vielleicht einmal in die Nähe von 50 kommen könnten.

Als Vergleichsöl für die Kontrollgruppen verwendeten wir raffiniertes Sojaöl, da dieses etwa die gleiche Jodzahl wie das Rotbarschöl aufwies und mit diesem Öl schon zahlreiche Fütterungsversuche am Institut durchgeführt wurden, so daß seine ernährungsphysiologischen Eigenschaften wohl bekannt waren.

Tabelle 1. Ergebnisse der chemischen Untersuchung der eingesetzten Öle.
(Mittelwerte aus 3 bzw. 5 Chargen).

	Rotbarschöl frisch	Rotbarschöl POZ 50	Sojaöl
Jodzahl	131	128	126
Peroxydzahl	2,1	49,2	4,0
Neutralisationszahl	4,6	4,6	0,2
Hydroxylzahl	6,2	5,9	2,2
Verseifungszahl	186	187	188
Unverseifbares %	1,8	1,7	0,7
Steringehalt frei %	0,7	0,7	0,3
Steringehalt Gesamt %	1,1	1,1	0,4
Gehalt an gesättigten Säuren %	16,6	16,2	12,7
Gehalt an Polyensäuren % ¹⁾	20,1	19,2	54,7
Diensäuren %	4,4	3,6	48,0
Triensäuren %	Sp	Sp	10,0
Tetraensäuren %	5,2	5,4	0
Pentaensäuren %	10,2	10,0	0
Hexaensäuren %	6,4	6,4	0
Myristinsäure %	6	5	0
Palmitinsäure %	14	13	8
Palmitoleinsäure %	21	20	2
Stearinsäure %	5	5	4
Ölsäure %	29	27	25
Octadecadiensäure (Linolsäure)	5	5	51
Polyensäure (unbekannt bzw. Linolensäure) ²⁾	14	11	9
unbekannte höhere Polyensäuren %	11	14	0

¹⁾ Bestimmt mit Lipoxydasemethode, berechnet als Linolsäure.

²⁾ Bestimmt mit Hilfe der Alkali-Isomerisierungsmethode.

³⁾ Bestimmt mit Hilfe der Gaschromatographie.

Auf Grund der verschiedenen angewendeten Bestimmungsmethoden für die Polyensäuren, deren Genauigkeit unterschiedlich ist, differieren die angeführten Werte. Ausführlichere Diskussion siehe FRICKER (3).

III. Analytische Untersuchung der eingesetzten Öle

Eine sehr wichtige Voraussetzung für die Deutung ernährungsphysiologischer Versuche ist es, die getesteten Substanzen möglichst eingehend chemisch-analytisch zu untersuchen, denn nur bei Kenntnis der Zusammensetzung und der Eigenschaften der Testsubstanzen ist es möglich, die Ursachen eines gegebenenfalls gefundenen Ergebnisses zu erklären. Es wurden daher von den eingesetzten Ölen einige analytische Daten ermittelt. Da hierüber an anderer Stelle ausführlich berichtet wurde [FRICKER (3)], sollen hier nur tabellarisch die Mittelwerte der gefundenen Daten wiedergegeben werden.

Mit diesen Ölen wurde ein langfristiger Fütterungsversuch angesetzt und in bestimmten Zeitabständen die scheinbare Ausnützung ermittelt. Der Versuch erstreckte sich über 2 Generationen und jeweils 20 Wochen.

Gleichzeitig wurde auch im Kurzversuch mit ^{14}C -markiertem Öl (durch Zufügung von $1\text{-}^{14}\text{C}$ -Palmitinsäure) versucht, Erkenntnisse über den Stoffwechsel zu erhalten. Man kann so z. B. durch Messung der ausgeatmeten Aktivität feststellen, welcher Anteil des Fettes im Körper zu CO_2 oxidiert wird; die Messung der Aktivität in einzelnen Organen gibt Aufschluß über den Verbleib des Fettes bzw. der Fettstoffwechselprodukte im Körper.

IV. Methodik

a) Fütterung und Haltung der Tiere. *)

Für den Fütterungsversuch wurden 4 Tiergruppen mit jeweils 30 männlichen und 30 weiblichen Elberfelder Ratten (Anfangsgewicht zwischen 45 und 55 Gramm) aus der Zucht des Instituts eingesetzt. Die Ratten wurden in Drahtbodeneinzelsäfigen bei $23 \pm 2^\circ$ Raumtemperatur und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50–60% gehalten. Trinkwasser stand ad libitum zur Verfügung. Die Fütterung erfolgte nach der „paired feeding“-Technik.

Folgende Bestandteile des Futters wurden in allen Gruppen gleich gegeben:

Tabelle 2. „Grund-Diät“ für die Tiergruppen Fi K, Fi I, Fi II, Fi III.

Fett	20%	Zellulosepulver	2 %
Magermilchpulver	33%	Hawk-Oser-Salzmischung	0,7%
Casein normal	10%	Mondamin	31 %
Trockenhefe (Torula, gemahlen)	3%	Vitamin-B-Komplex in physiologischen Mengen	

Genaue Einzelheiten über die Zusammensetzung der Vitaminmischungen, über die Fütterung in der Zeit der Reproduktion, über die Fütterungstechnik usw. werden in einer späteren Mitteilung gebracht werden.

Variiert wurden für die verschiedenen Tiergruppen zwei Bestandteile des Futters: Das Fett und der Tokopherolgehalt. Die Kontrollgruppe *Fi K* erhielt als Fett 20% raffiniertes Sojaöl. Da dieses kein Vitamin A enthält, wurden wöchentlich je Tier 30 IE dieses Vitamins zugegeben.

In Gruppe *Fi I* diente reines, unverändertes Rotbarchöl als Nahrungsfett.

Da der Vitamin-E-Gehalt von Fischöl relativ niedrig ist, wurden zur Ausschaltung von eventuellen E-Mangelsymptomen der Versuchsgruppe *Fi II* zwar ebenfalls 20% unverändertes Rotbarchöl gegeben; es erfolgte aber eine Erhöhung des Tokopherolgehaltes des Futters auf solche Werte, wie sie in der Kontrollgruppe *Fi K* (Sojaöl) vorlagen. Hierfür mußte etwa 1 mg α -Tokopherolacetat je Tier und Tag zugefügt werden.

*) Hierfür danken wir Frau Dr. KIECKEBUSCH verbindlichst.

Die Gruppe *Fi III* erhielt als Fett 20% des auf eine Peroxydzahl von etwa 50 anoxydierten Rotbarschöles. Der Tokopherolgehalt wurde auf etwa die gleiche Höhe ergänzt wie bei den Gruppen *Fi K* und *Fi II*.

b) Herstellung des Rotbarschöles

Für die Herstellung von Rotbarschöl werden die noch feuchten frischen Fische bzw. die Filetierungsabfälle für 5 bis 10 Minuten auf 95° erhitzt. Dann wird das Öl in einer Schneckenpresse ausgepreßt, in heißem Zustand zur Abtrennung und Klärung zentrifugiert und gegebenenfalls einer Blankfiltration unterworfen. Das so gewonnene Öl wurde für unsere Zwecke noch im Vakuum entgast, wobei gegebenenfalls vorhandenes Restwasser mitentfernt wurde, unter sauerstofffreiem Stickstoff abgefüllt und verschickt. Die Aufbewahrung im Institut erfolgte bei -20°.

c) Anoxydation des Rotbarschöles

Chargen von je etwa 5 kg Rotbarschöl wurden in einem 10-l-Rundkolben auf 60° erhitzt, wobei durch eine Glasfritte G0 (Durchmesser 3,4 cm) mit Hilfe einer Wasserstrahlpumpe Luft durchgesaugt wurde. Von Zeit zu Zeit wurden Proben entnommen und darin die Peroxydzahl bestimmt. Sofort nach Erreichen einer Peroxydzahl von etwa 50 wurde das Öl abgekühlt, sauerstofffreier Stickstoff eingeblasen und bei -20° gelagert.

Die Bestimmung der Peroxydzahl erfolgte nach WHEELER, siehe KAUFMANN (30).

d) Ermittlung des Kotfettgehaltes

Der innerhalb einer Woche anfallende Kot von jeweils 10 Einzeltieren beiderlei Geschlechtes aus jeder Tiergruppe wurde in 2tägigen Abständen gesammelt, bei 50° im Trockenschrank getrocknet, zerrieben und im Exsikkator nachgetrocknet. Etwa 4 bis 5 Gramm Trockenkot wurden im Soxhlet mit Chloroform 4 Stunden lang extrahiert, der Extraktionsrückstand nach dem Verdampfen des Lösungsmittels und Aufbewahren im Vakuumexsikkator über P₂O₅ und Paraffinspänen gewogen und als Kotfett bezeichnet.

e) Berechnung der scheinbaren Ausnützung

Aus dem Kotfettgehalt und der Gesamtmenge an Kot wurde die ausgeschiedene Fettmenge ermittelt. Die scheinbare Ausnützung wurde nach der Formel

$$\% \text{ scheinbare Ausnützung} = 100 \left(1 - \frac{\text{Fettmenge im Kot}}{\text{Fettaufnahme}} \right)$$

errechnet, wobei die Fettaufnahme aus der Futteraufnahme und dem Fettgehalt des Futters entnommen werden konnte.

f) Herstellung der markierten Öle

Zu den zu testenden Rotbarschölen wurde 1-¹⁴C-markierte Palmitinsäure in solchen Mengen zugegeben, daß die Markierung zwischen 5 und 50 µCi¹⁴C/Gramm Öl betrug. Bei Sojaöl erfolgte eine Markierung mit 9 bis 18 µCi¹⁴C/Gramm Öl.

g) Tierversuche mit markierten Ölen

Es wurden Albinoratten (Sprague Dawley) mit einem Körpergewicht von 160 bis 280 g verwandt. Die Tiere wurden vor Versuchsbeginn 22–26 Stunden nüchtern gehalten. Mit der Schlundsonde¹⁾ erhielten sie dann 1,5 bis 2,9 g Öl je kg Körpergewicht verabreicht. Die Versuchsdauer betrug 16 bis 32 Stunden.

h) Aufarbeitung des organischen Materials, Messung der Proben und Betrachtung der bei dieser Methode auftretenden Fehler wurden wie bei FINGERHUT, SCHMIDT und LANG (31) beschrieben durchgeführt.

¹⁾ Für die Durchführung der Sondierungen danken wir Herrn Dr. CZOK verbindlichst.

V. Versuchsergebnisse

a) Scheinbare Ausnützung.

In Abb. 1 sind die für die scheinbare Ausnützung, und zwar 4–8–14–20 Wochen nach Versuchsbeginn (bei der 1. Generation) und 4–10–20 Wochen nach Versuchsbeginn (bei der 2. Generation), erhaltenen Werte graphisch aufgetragen. Es handelt sich um die Untersuchungen bei den Männchen.

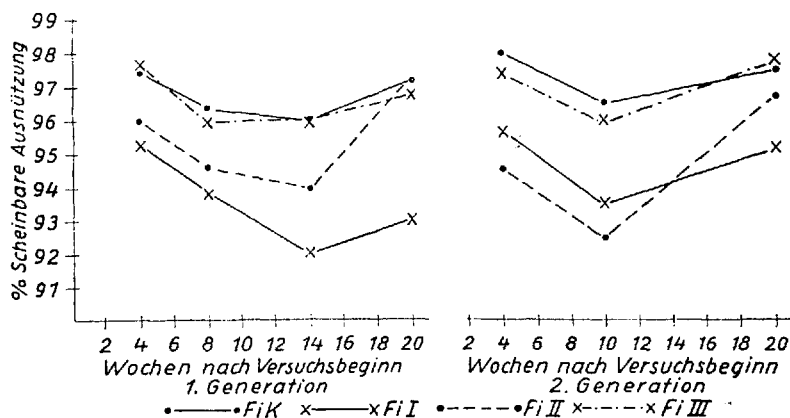


Abb. 1. Scheinbare Ausnützung von Rotbarsch- und Sojaöl nach verschieden langer Versuchsdauer (Mittelwerte von je 10 Einzeltieren)

Die nach 4 Wochen bei beiden Generationen in allen Versuchsgruppen noch über 95% betragende scheinbare Ausnützung wurde mit zunehmender Versuchsdauer schlechter, um dann wieder (nach 20 Wochen) höhere Werte zu erreichen. Dieser „Gang“ war bei beiden Generationen analog zu finden. Interessant ist, daß – wiederum in beiden Generationen – das Sojaöl (Fi K) und das anoxydierte Rotbarschöl (Fi III) am besten ausgenutzt wurden; die Kurven hierfür liegen jeweils eng beieinander. Die Ausnützung des nativen Fischöles mit und ohne Tokopherolzulage (Fi I und Fi II) war meist signifikant niedriger, wobei die statistische Sicherung allerdings zum Teil nur schwach war. Nach 20 Wochen Versuchszeit war übereinstimmend in beiden Generationen eine deutliche Verbesserung der Resorption zu beobachten, wobei auffällt, daß jeweils der größte Sprung in der Gruppe Fi II (mit Tokopherolzulage) eintrat. Nach dieser Versuchszeit erreichte die Ausnützung in den Gruppen Fi K, Fi II und Fi III (1. Generation) praktisch dieselben Werte. Bei den Weibchen wurden keine so eindeutigen Resultate gefunden, hier waren vielmehr die Werte für die Ausnützung aller getesteten Öle ziemlich gleichmäßig. Die Tendenz, daß die unveränderten Rotbarschöle etwas schlechter ausgenutzt wurden, war aber ebenfalls zu beobachten.

b) Stoffwechsel

Im Zusammenhang mit der Ausnützung der Öle stellt sich die Frage, wie sich das Öl im Stoffwechsel verteilt. Ein erster Einblick ergibt sich, wenn man die Verteilung einer ^{14}C -Aktivität untersucht, die man in Form einer markierten

Fettsäure anbietet. Bei den im folgenden beschriebenen Versuchen haben wir $1\text{-}^{14}\text{C}$ -markierte Palmitinsäure im Gemisch mit den verschiedenen Ölen per os verabreicht.

Tabelle 3. Verteilung der ^{14}C -Aktivität, als $1\text{-}^{14}\text{C}$ -Palmitinsäure im Gemisch mit Sojaöl per os beigebracht

Tier-Nr.	Ölzufuhr g/kg KG	Versuchs- dauer Std.	Halbwerts- zeit d. Ausatm. (Std.)	Atemluft	gefunden in % der Dosis			
					Carcass	Magen- Darm- trakt + Faeces	Harn	Bilanz
1	2.18	20	5	59	10	25	1	95
2	2.67	20	5	58	20	16	1	95
3	2.89	23	3	58	1	35	1	95
4	2.95	22	4	60	11	23	1	95

Bei der Verabreichung der in der beschriebenen Weise markierten Sojaöle ergab sich, daß nach 20–22 Stunden 17–36% der Aktivität als nicht resorbiert bzw. endogen sezerniert bezeichnet werden können. 10–20% werden im allgemeinen im Carcass ohne Magen-Darm-Trakt retiniert, 1% hiervon findet sich in der Leber. Rund 60% der angebotenen Aktivität werden als $^{14}\text{CO}_2$ ausgeatmet. Die Zeit, in der die Hälfte des Atem- CO_2 ausgeschieden wird, beträgt 3–5 Stunden.

Tabelle 4. Verteilung der ^{14}C -Aktivität, als $1\text{-}^{14}\text{C}$ -Palmitinsäure im Gemisch mit nativem Rotbarschöl per os verabreicht.

Tier-Nr.	Ölzufuhr g/kg KG	Versuchs- dauer (Std.)	Halbwerts- zeit d. Ausatm. (Std.)	Atemluft	gefunden in % der Dosis			
					Carcass	Magen- Darm- trakt + Faeces	Harn	Bilanz
1	1.46	21	—	54 ¹⁾	—	—	—	—
2	2.21	22	5	55	20	18	1	95
3	2.82	15	5	52	20	23	1	95

¹⁾ Korrekturwerte; Erläuterung siehe Diskussion der Ergebnisse.

Bei der Verabreichung des mit ^{14}C -Palmitinsäure markierten unveränderten Rotbarschöles (rund 1,5–3 g Öl je kg Körpergewicht) waren nach 15–22 Stunden Versuchsdauer 19–24% der beigebrachten Aktivität nicht resorbiert, 20% sind retiniert und 52–55% zu $^{14}\text{CO}_2$ oxydiert und mit einer Halbwertszeit von 5 Stunden via Lunge ausgeschieden worden.

Bei der Applizierung des markierten anoxydierten Rotbarschöles (POZ ~ 50–55) per os in Mengen von rund 1,5–2,0 g/kg Körpergewicht wurden nach 16–32 Stunden Versuchsdauer 11–17% der Dosis als nicht resorbiert gefunden, 0–20% werden retiniert, 59–65% mit einer Halbwertszeit von 4–6 Stunden in der Atemluft ausgeschieden. (Tier Nr. 3 lieferte infolge der wesentlich längeren Versuchszeit eine etwas abartige Verteilung der Aktivität.)

Tabelle 5. Verteilung der ^{14}C -Aktivität, als 1- ^{14}C -Palmitinsäure im Gemisch mit anoxydiertem Rotbarschöl (POZ ~ 50) verabreicht

Tier-Nr.	Ölzufuhr g/kg KG	Versuchs- dauer (Std.)	Halbwerts- zeit d. Ausatm. (Std.)	Atemluft	gefunden in % der Dosis			
					Carcass	Magen- Darm- trakt + Faeces	Harn	Bilanz
1	1.54	21	—	59 ¹⁾	—	—	—	—
2	1.88	16	5	65	15	14	1	95
3	2.00	32	6	84	0	9	2	95
4	2.06	25	4	59	19	15	2	95

¹⁾ Korrekturwert; Erläuterung siehe Diskussion der Ergebnisse, S. 98.

Diskussion der Ergebnisse

Für den etwas überraschenden Befund, daß anoxydiertes Rotbarschöl eine bessere scheinbare Ausnützung aufwies als das unveränderte Öl, läßt sich nur schwer eine Erklärung finden, ebenso wie für die nach 8 bzw. 10 bzw. 14 Wochen Versuchszeit gefundene allgemeine Verschlechterung der Ausnützung. Ob man die nach 20 Wochen Fütterungszeit wieder angestiegenen Werte (siehe Abb. 1) einfach mit einer Gewöhnung der Tiere an das unveränderte Rotbarschöl erklären kann, ist, wie auch die Wirkung der Tokopherolzulage in Fi II, auf Grund unserer Versuche wohl noch nicht möglich.

Bei der Betrachtung der Werte, die sich aus der Verteilung der ^{14}C -Aktivität, herrührend aus der den Ölen zugesetzten Palmitinsäure, ergeben, ist zu beachten, daß diese Angaben Prozentsen einer ^{14}C -Aktivität entsprechen; sie dürfen nicht a priori direkt in Beziehung gesetzt werden mit Prozentsen einer Fettsäure- oder Öl-Gabe in Gramm.

Die Werte, die sich für die in der Atemluft ausgeschiedene $^{14}\text{CO}_2$ -Aktivität nach der unter (31) beschriebenen Methode ergaben, zeigten bei einer Markierung von 5–9 $\mu\text{C/g}$ Öl eine zu große Streuung. Daher wurde eine Korrektur dieser Werte notwendig. Geht man von einem Gesamtverlust von 5% der gegebenen Aktivitätsdosis aus, so ergibt sich die in der Atemluft ausgeschiedene Aktivität in Prozentsen zu 95 minus Aktivität in Carcass, Magen-Darm-Trakt, Faeces und Harn. Die in den Tab. 1–3 angegebenen Werte für die in der Atemluft gefundene Aktivität in Prozent der Dosis wurden auf diese Art errechnet. Eine Berechtigung für diese Korrektur liefern in den Tabellen mit ¹⁾ gekennzeichnete Werte, die ermittelt wurden, indem das in NaOH absorbierte CO_2 der Atemluft zur Messung mit H_2SO_4 wieder freigesetzt wurde. Diese Angaben bestätigen innerhalb der Fehlerbreite die durch die beschriebene Korrektur gefundenen Werte für die Aktivität der Atemluft.

Der Anteil an Aktivität, die im Magen-Darm-Trakt einschließlich der Faeces gefunden wurde, liegt sowohl bei Sojaöl wie auch beim Rotbarschöl bei 20% und mehr. Zwischen den Ölen ist praktisch kein Unterschied bezüglich der Aktivitätsverteilung zu bemerken. Es könnte hier höchstens eine Tendenz dahingehend diskutiert werden, daß die in der Atemluft ausgeschiedene Aktivität beim Sojaöl auf Kosten einer geringeren Retention im Carcass leicht erhöht ist gegenüber den Werten bei nativem Rotbarschöl.

Oxydiert man das Fischöl leicht an, so scheint sich die Verteilung der als ^{14}C -Palmitinsäure beigebrachten Aktivität etwas zu verschieben. Bei gleicher Retention liegen die Werte für die Veratmung geringfügig höher, während der Anteil der in Magen-Darm-Trakt und Faeces gefundenen Aktivität geringer ist, was einer besseren Resorption entsprechen würde. Gleiche Befunde wurden bei der Verfolgung der scheinbaren Ausnützung erhoben, wo ebenfalls das anoxydierte Rotbarschöl höhere Werte für die Ausnützung aufwies. Die Parallelität dieser Ergebnisse deutet darauf hin, daß sich die zugesetzte Palmitinsäure im Stoffwechsel, zumindest hinsichtlich der Resorption, gleich verhält wie das Öl. Weiterhin läßt die geringe Verlängerung der Halbwertszeit der Veratmung, d. h. der Zeit, in der die Hälfte des Atem- $^{14}\text{CO}_2$ ausgeschieden wird, den Schluß auf eine zwar verzögerte, aber doch erhöhte Oxydation der Palmitinsäure zu, wenn sie im Gemisch mit anoxydiertem Rotbarschöl gegeben wird, im Gegensatz zur Gabe mit nativem Fischöl.

Da also mit zwei verschiedenen Methoden weitgehend parallele Ergebnisse erhalten wurden, dürfte die Schlußfolgerung gestattet sein, daß anoxydiertes Rotbarschöl in größerem Umfang resorbiert und dem oxydativen Stoffwechsel zugeführt wird als das native Fischöl.

Frl. H. SCHENKENHOFER und Frl. H. WERNER danken wir für ihre Mitarbeit.

Zusammenfassung

Nach einleitender Besprechung der chemischen und ernährungsphysiologischen Eigenschaften von Fischölen wird über Untersuchungen über die scheinbare Ausnützung von Sojaöl, unverändertem und anoxydiertem Rotbarschöl (POZ ~ 50) berichtet, die ergaben, daß das unveränderte Fischöl eine niedrigere scheinbare Ausnützung aufweist. Die Höhe der Ausnützung ändert sich mit der Versuchsdauer.

Bei der erstmaligen Verabreichung von $1\text{-}^{14}\text{C}$ -markierter Palmitinsäure im Gemisch mit den 3 Ölsorten besteht eine weitgehende Übereinstimmung der Aktivitätsverteilung im Stoffwechsel. Lediglich eine Tendenz zur vermehrten Resorption und Oxydation der Palmitinsäure scheint sich darzutun, wenn man sie mit anoxydiertem Rotbarschöl verabreicht gegenüber der Zuführung mit nativem Öl.

Literatur

1. TOYAMA, Y., T. SHIMOOKA, Y. IWATA und K. FUJIMURA, *Fette-Seifen-Anstrichmittel* **61**, 461 (1959). — 2. JEKAT, F., *Fette-Seifen-Anstrichmittel* **61**, 472 (1959). — 3. FRICKER, A., *Z. Ernährungswiss.* **5**, 31 (1964). — 4. HORWITT, M. K., *Amer. J. Clin. Nutr.* **8**, 451 (1960); *Vitamines, Hormones* **20**, 541 (1962). — 5. WEBER, F., U. GLOOR und O. WISS, *Fette-Seifen-Anstrichmittel* **64**, 1149 (1962). — 6. DAM, H., *Pharmacol. Rev.* **9**, 1 (1957). — 7. MACHLIN, L. J., *J. Amer. Oil. Chem. Soc.* **40**, 368 (1963). — 8. NIEMAN, C. und H. J. K. OBBINK, *Vitamines Hormones* **12**, 69 (1954). — 9. LANG, K., *Biochemie der Ernährung* (Darmstadt 1957) Seite 220. — 10. DINGLE, J. T. und J. A. LUCY, *Biochem. J.* **86**, 15 p. (1963). — 11. MOORE, T. und I. M. SHARMAN, *Brit. J. Nutr.* **15**, 297 (1961). — 12. SWAIN, L. A., in: *Progress in the chemistry of fats*. Herausgegeben von R. T. HOLMAN, W. O. LUNDBERG und T. MALKIN, Band 5, 117 (London-New York-Paris-Los Angeles 1958). — 13. SCHETTLER, G., *Arteriosklerose (Ätiologie, Pathologie, Klinik und Therapie)* (Stuttgart 1961). — 14. BÖHLE, E., *Habilitationsschrift* (Frankfurt 1963). — 15. KANEDA, T., in: *Fish in Nutrition*, herausgegeben von E. HEEN und R. KREUZER, S. 294 (London 1962). — 16. EDWARDS, H. M. und J. E. MARION, *J. Nutr.* **81**, 123 (1963). — 17. KANEDA, T., *Fette-Seifen-Anstrichmittel* **61**, 469 (1959). — 18. MILLER, S. A., H. A. DYMSZA und S. A. GOLDBLITH, in: *Fish in Nutrition*, siehe 15., Seite 295. —

19. RASHEED, A. A., J. E. OLDFIELD, J. KAUFMES und R. O. SINNHUBER, J. Nutrit. **79**, 323 (1963). — 20. OLDFIELD, J. E., R. O. SINNHUBER und A. A. RASHEED, J. Amer. Oil Chem. Soc. **40**, 357 (1963). — 21. OLCOTT, H. S., in: Fish in Nutrition, siehe (15), Seite 112. — 22. LASSEN, S., E. K. BACON und J. H. DUNN, Arch. Biochem. **23**, 1 (1949). — 23. FARMER, E. H. und D. A. SUTTON, J. Chem. Soc. **1943**, 122. — 24. LOURY, M. und G. LECHARBER, Ref. J. Amer. Oil Chem. Soc. **40**, 31 (1963). — 25. DESAI, I. D. und A. L. TAPPEL, J. Lipid Res. **4**, 204 (1963). — 26. LANG, K., A. FRICKER, W. KIECKEBUSCH und W. GRIEM, Dtsch. Med. J. **15**, 308 (1964). — 27. KIECKEBUSCH, W., K. JAHR, G. CZOK, E. DEGKWITZ und K. LANG, Fette-Seifen-Anstrichmittel **65**, 919 (1963). — 28. KIECKEBUSCH, W., K. JAHR, G. CZOK, W. GRIEM, K. H. BÄSSLER, C. H. HAMMAR und K. LANG, Fette-Seifen-Anstrichmittel **64**, 1154 (1962). — 29. ANDREWS, J. C., W. H. GRIFFITH, J. F. MEAD und S. A. STEIN, J. Nutrit. **70**, 199 (1960). ANDREWS, J. C., J. F. MEAD und W. H. GRIFFITH, Federation Proceed. **15**, 918 (1956). — 30. KAUFMANN, H. P., Analyse der Fette und Fettprodukte (Berlin-Göttingen-Heidelberg 1958) Seite 1295. — 31. FINGERHUT, M., B. SCHMIDT und K. LANG, Biochem. Z. **336**, 118 (1962).

Anschrift der Verfasser:

Dr. A. FRICKER, Dr. B. SCHMIDT und Prof. Dr. Dr. K. LANG, Physiol.-Chem. Univ.-Institut, 6500 Mainz

*Aus dem physiologisch-chemischen Institut der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz
(Direktor: Prof. Dr. Dr. K. Lang)*

Ernährungsphysiologische Eigenschaften von Rotbarschöl

II. Mitteilung: Resorption und Resorptionsgeschwindigkeit

Von A. FRICKER, G. CZOK, E. SCHÄFFNER und K. LANG

Mit 2 Tabellen

(Eingegangen am 16. Juni 1964)

Mit der Nahrung aufgenommene Fette werden im Magen praktisch nicht angegriffen, sondern fast unverändert in den Dünndarm weitertransportiert. Hier findet die eigentliche Resorption statt, wobei für den Übergang vom Darminhalt über die Mucosazellen zur Lymphe ein Pinocytose-Mechanismus anzunehmen ist. Die Resorptionsgeschwindigkeit sowie die resorbierte Menge sind abhängig von der Art des Nahrungsfettes und auch von einer gegebenenfalls eingetretenen chemischen Veränderung des ursprünglichen Fettes. STEENBOCK, IRWIN und WEBER (1) bestimmten, welche Mengen eines Fettes, das mit der Schlundsonde in den Magen von Ratten gegeben wurde, nach 2–4–6–8–12 Stunden noch im Magen bzw. Dünndarm bzw. Dickdarm wiederzufinden waren. Aus den ermittelten Werten konnte auf die nach diesen Zeiten bereits vom Körper resorbierte Fettmenge geschlossen werden. Es wurde dabei festgestellt, daß Schweinefett und Maisöl etwa gleich schnell resorbiert wurden, Butterfett, Heilbuttleberöl und Dorschleberöl verschwanden jedoch deutlich schneller aus dem Magen-Darm-Trakt. Beim Vergleich der für verschiedene Fette nach 4 Stunden gefundenen Zahlen wurden folgende Werte erhalten: Von rohem Leinöl waren 67%, von Olivenöl 63%, von Sojaöl 59%, von Erdnußöl 58%, von Cacao butter 48% und von Palmöl 37% resorbiert worden. Die entsprechenden Zahlen waren für Schweinefett 57%, für Maisöl 58%, für Butterfett 60%, für Butteröl 71%, für Heilbuttleberöl 70%.