

FISCH ALS LEBENSMITTEL

Vitamine in Fischen

Ute Ostermeyer, Institut für Biochemie und Technologie

Vitamine sind organische Substanzen, die im Stoffwechsel für die Aufrechterhaltung vieler lebensnotwendiger Funktionen benötigt werden. Da sie jedoch im menschlichen Organismus nicht oder zumindest nicht in ausreichender Menge gebildet werden können, müssen sie regelmäßig mit der Nahrung aufgenommen werden. Dies erfolgt entweder in Form der „fertigen“ Vitamine oder als Provitamine. Der Artikel gibt einen Überblick über den Vitamin Gehalt von Fischen und den Einfluß der industriellen Verarbeitung bzw. küchenmäßigen Zubereitung. Die verzehrbaren Anteile von Fischen stellen gute Quellen für die Versorgung des Menschen mit den Vitaminen D und B₁₂ dar. Darüber hinaus tragen manche Fischarten auch zur Versorgung mit Vitamin E, Niacin und Vitamin B₆ bei.

Bislang sind 13 Vitamine bekannt, von denen fast jedes nicht als einzelne Substanz, sondern als Gruppe von verwandten Stoffen (sog. Vitamere) mit qualitativ gleichen biologischen Wirkungen aufzufassen ist. Chemisch gehören die Vitamine den verschiedensten Stoffgruppen an; sie weisen damit auch unterschiedliche physikalische und chemische Eigenschaften auf. Die Einteilung erfolgt üblicherweise entsprechend ihrer Löslichkeit in fettlösliche und wasserlösliche Vitamine. Zu den fett-

löslichen Vitaminen gehören Vitamin A, D, E und K; zu den wasserlöslichen Vitaminen werden die acht Vitamine des B-Komplexes (Vitamin B₁, Vitamin B₂, Vitamin B₆, Vitamin B₁₂, Biotin, Folsäure, Niacin, Pantothensäure) und das Vitamin C gerechnet.

Tabelle 1: Empfohlene tägliche Aufnahme der Vitamine für Erwachsene von 18–35 Jahren mit vorwiegend sitzender Beschäftigung (Deutsche Gesellschaft für Ernährung, 1991) (Franzke 1996)

Recommended daily intake of vitamins for adults of 18 to 35 years with predominantly sitting occupation (Deutsche Gesellschaft für Ernährung, 1991) (Franzke 1996)

Vitamin Trivial- bezeichnung	Vitamin IUPAC-IUB- Nomenklatur	Empfohlene tägliche Aufnahme
Fettlösliche Vitamine		
Vitamin A	Retinol, Retinal, Retinsäure	900 µg
Vitamin D	Calciferole	5 µg
Vitamin E	Tocopherole	12 mg
Vitamin K	Naphthochinone	70 µg *
Wasserlösliche Vitamine		
Vitamin C	Ascorbinsäure	75 mg
Vitamin B ₁	Thiamin	1,3 mg
Vitamin B ₂	Riboflavin	1,7 mg
Niacin	Nicotinsäure, Nicotinamid	17 mg
Pantothensäure	Pantothensäure	6 mg *
Vitamin B ₆	Pyridoxin, Pyridoxal, Pyridoxamin	1,8 mg
Folate	Folsäure	300 µg
Vitamin B ₁₂	Cobalamine	3 µg
Biotin	Biotin	30 – 100 µg *

* = Schätzwerte

Der Bedarf eines Menschen an jedem einzelnen Vitamin beträgt nur wenige Mikrogramm bis Milligramm pro Tag (Tabelle 1). Seine genaue Höhe ist von zahlreichen Faktoren wie Lebensalter, Geschlecht, Gewicht, Ausmaß der körperlichen Aktivitäten, Krankheit, Schwangerschaft usw. abhängig. Der Vitaminbedarf ist somit individuell unterschiedlich. Bei einer ausgewogenen Ernährung treten Vitaminmangelzustände beim gesunden Menschen kaum auf. Während zuviel aufgenommene wasserlösliche Vitamine mit dem Urin ausgeschieden werden, können fettlösliche Vitamine im Körper gespeichert werden.

Es gibt keine Lebensmittel, die alle Vitamine und diese in den für den Menschen notwendigen Mengen enthalten. Hinsichtlich der Ausnutzung des Vitamingehaltes von Lebensmitteln gelangte man zu der Erkenntnis, daß tie-

Vitamins in fish

Vitamins are organic substances which are present in minute amounts in natural foodstuffs and which are essential for normal physiological functions. The short review gives an overview on the vitamin content in fish and discusses the influence of industrial production and household cooking. The vitamin contents in fish depend on the species and vary considerably. Fish is a rich source of vitamin D and B₁₂. Some species contain also considerable amounts of niacin, vitamin B₆ and vitamin E.

rische Produkte im allgemeinen besser verwertet werden als pflanzliche (Franzke 1996).

Der Vitamingehalt der Lebensmittel hängt von biologischen und klimatischen Umständen sowie der Vorgehensweise bei der Be- und Verarbeitung, Lagerung, Konservierung und Zubereitung ab. Die Vitamine sind dabei einer Reihe von Einflüssen wie Temperatur, Licht, Sauerstoff, pH-Wert, Chemikalien (z.B. Nitrit, Sulfit), Wasser, Metallionen (z. B. Eisen, Kupfer) und Enzymen ausgesetzt, die in Abhängigkeit von der Zeitdauer ihrer Einwirkung das Ausmaß der Vitaminverluste bestimmen. Gehaltsangaben von Vitaminen in Lebensmitteln – wie sie Nährwerttabellen zu entnehmen sind – können demzufolge nur Anhaltswerte sein.

Vorkommen von Vitaminen in Fischen

Bei den Vitaminangaben von Fischen sind deutliche Schwankungen nicht nur zwischen verschiedenen Fischarten, sondern auch innerhalb einer Art festzustellen. Fischen in Aquakulturen wird oftmals vitaminisiertes Futter verabreicht. Die Vitamingehalte dieser Zuchtfische können sich daher von den Gehalten wildlebender Tiere der gleichen Fischart unterscheiden.

Die gemessenen Vitamingehalte innerhalb einer Fischart sind abhängig von (Sidwell et al. 1978):

- biologischen Parametern wie Größe, Alter, Geschlecht, Reifestadium
- der Jahreszeit → Futterangebot, Temperatur
- dem Fanggebiet → Futterangebot
- der Art und Weise, wie mit dem Fisch nach dem Fang bis zur Analyse umgegangen wurde
- der Probenvorbereitung
- der Analysenmethode → Nachweis und Bestimmung der Vitamine können biologisch oder physikalisch-chemisch erfolgen. Die verschiedenen Verfahrensweisen führen nicht immer zu gleichen Ergebnissen.

Fettlösliche Vitamine

Das Fett – als Träger der fettlöslichen Vitamine – ist im Fischkörper nicht gleichmäßig verteilt. Während die Magerfische ihr Fett in der Leber speichern, ist bei den Fettfischen die größte Fettmenge in der Muskulatur und als dünne Schicht unter der Haut eingelagert. Der Fettgehalt ist vom biologischen Reifezustand, dem Futterangebot, dem Fangplatz und dem Alter der Fische abhängig.

Vitamin A kommt in den Leberölen vieler Fischarten in hoher Konzentration vor. Im Fischfilet sind dagegen nur deutlich geringere Mengen vorhanden. Fette Fische (wie Aal, Makrele und Thunfisch) stellen erwartungsgemäß

eine bessere Vitamin-A-Quelle dar als magere (Lall et al. 1995). Der Vitamingehalt im Filet ist vom Vitamin-A- und Provitamin-A-Gehalt der Nahrung abhängig.

Die biologisch aktive Form des Vitamins A in Fischen ist das Retinol (A_1) und 3-Dehydroretinol (A_2). Süßwasserfische enthalten größere Mengen an Vitamin A_2 als Seefische (Lall et al. 1995). Anadrome Fische (z.B. Lachs) enthalten mehr Vitamin A_2 als A_1 , während katadrome Fische (z.B. Aal) mehr Vitamin A_1 als A_2 enthalten (Higashi 1961). Bei den in den Nährwerttabellen angegebenen Vitamin-A-Gehalten wird nicht zwischen Vitamin A_1 und dem biologisch weniger wirksamen Vitamin A_2 unterschieden.

Astaxanthin und Canthaxanthin sind die wichtigsten Carotinoide in der Fischernahrung. Sie werden den Futtermitteln vor allem zur Färbung von Fischen (Lachs, Forelle) zugesetzt. Im Gegensatz zum Menschen können Fische sie zu Vitamin A metabolisieren (Olson 1989). Eine enge Beziehung besteht zwischen dem Carotinoidgehalt der Eier und ihrer Befruchtungsfähigkeit. Bei Forellen wurde beobachtet, daß sich intensiv gefärbte Eier sehr viel besser entwickeln als blasse oder gelbliche (Mann 1970).

Fischöle, vor allem die Fischleberöle, sind auch wichtige **Vitamin-D-Quellen**. Deshalb wurde der menschliche Bedarf an den Vitaminen A und D über viele Jahrzehnte durch Leberöle (Lebertran) verschiedener Fischarten gedeckt.

Die Vitamin-D-Gehalte der einzelnen Fischarten sind sehr unterschiedlich. Auch innerhalb einer Art wurden an verschiedenen Fangplätzen sehr unterschiedliche Gehalte festgestellt. Im allgemeinen enthält das Fischfleisch von mageren Arten wenig Vitamin D, während fettreiche Fische dieses Vitamin in für den Menschen ausreichender Menge enthalten (Lall et al. 1995; Higashi 1961).

Da Wasser UV-Strahlen-undurchlässig ist (Strahlung um 300 nm wird vom Wasser in den ersten wenigen Metern vollständig absorbiert), erscheint die Bildung von Vitamin D in der Haut der Fische durch Umwandlung des Provitamins unwahrscheinlich. Man nimmt deshalb an, daß andere biosynthetische Wege oder die direkte Aufnahme des Vitamins (über Nahrungskette beginnend beim Phytoplankton) als Vitamin-D-Quelle für Fische dienen (Takeuchi et al. 1986). Der Zusatz von Vitamin D_3 zum Fischfutter wird in der Futtermittelverordnung mengenmäßig begrenzt. Die Verabreichung von Vitamin D_2 an Fische ist unzulässig.

Vitamin E bildet als natürlich vorkommendes Antioxidans einen Oxidationsschutz für Fette. Fischfleisch stellt nur eine mäßig gute Vitamin-E-Quelle dar (Lall et al.

Tabelle 2: Vitamingehalte der wichtigsten Fischarten (Souci-Fachmann-Kraut 1994)
 Vitamin contents of most important fish species (Souci-Fachmann-Kraut 1994)

Fisch	Vitaminangaben in µg/100 g eßbarem Anteil												
	A	D	E	K ₁	B ₁	B ₂	Niacin	B ₆	Panto- thens.	Biotin	Fol- säure	B ₁₂	C
Schwarzer Heilbutt	31	15	850	-	65	70	1300	430	-	-	12	1	-
Hering	38	26,7	1500	-	40	220	3800	450	940	4,5	5	8,5	-
Kabeljau	6,5	1,3	1000	-	55	46	2300	200	256	2,2	7,96	1,16	2000
Köhler	5,6	-	-	-	88	350	4000	-	-	-	-	3,5	-
Makrele	100	4	1250	5	130	360	7500	630	460	4,3	1,2	9	0-800
Rotbarsch	14,3	2,3	1250	-	110	80	2500	-	-	-	-	3,8	800
Sardine	20	10,8	-	-	20	250	9700	960	-	-	-	0,14	-
Schellfisch	17	-	390	-	50	170	3100	-	221	2,5	8,9	0,7	-
Scholle	0-6	-	-	-	210	220	4000	220	800	-	11	1,5	1500
Seehecht	-	-	-	-	100	200	-	-	-	-	-	-	-
Alaska-Seelachs	-	-	-	-	170	170	-	-	-	-	3,1	1,2	-
Thunfisch	450	4,5	-	-	160	160	8500	460	660	-	15,0	4,3	-
Aal	980	20	-	-	180	320	2600	280	-	-	13	1	1800
Forelle	32,1	-	1720	-	84	76	3410	-	1720	4,5	9,2	-	-
Karpfen	44	-	-	-	68	53	1900	150	-	-	-	-	1000
Lachs	41	16,3	2250	-	170	170	7500	980	1020	7,4	3,4	2,9	1000

- = keine Angabe

1995). Es gibt eine Vielzahl an Untersuchungen, die sich mit dem Einfluß der Fütterung auf die Fettsäurezusammensetzung und den Vitamin-E-Gehalt der Fischgewebe befassen. Die Fütterungsversuche wurden vor allem bei Karpfen, Forellen, Lachsen, Welsen und anderen Süßwasserfischen durchgeführt. Es wurde immer wieder festgestellt, daß der Vitamin-E-Gehalt des Fischgewebes stark abhängig vom Vitamin-E-Gehalt der aufgenommenen Nahrung war.

Je niedriger der Fettgehalt eines Fisches, um so niedriger ist erwartungsgemäß auch dessen Vitamin-E-Gehalt. In Seefischen sind größere Mengen vorhanden als in Süßwasserfischen derselben Art. Die Vitamin-E-Gehalte in den Fischleberölen sind bei allen Arten höher als im Körperfett (Lall et al. 1995). Untersuchungen an Regenbogenforellen ergaben, daß das Alter den Tocopherolgehalt beeinflusst: die höchsten Werte wurden bei den jüngsten Tieren gefunden. Keine Unterschiede konnte zwischen den Geschlechtern bei erwachsenen Regenbogenforellen festgestellt werden (Lopez et al. 1995).

Über den **Vitamin-K**- Gehalt von Fischerzeugnissen ist erst sehr wenig bekannt. Bei den wenigen bereits untersuchten Fischarten wurden bislang nur sehr kleine Vitamin-K-Gehalte festgestellt. Für die Aufzucht von Fischen in Aquakulturen wird Menadion-haltiges Futter eingesetzt. Menadion (Vitamin K₃) selbst besitzt keine Vitamin-K-Wirksamkeit. Der tierische Organismus kann daraus jedoch Vitamin K₂ aufbauen. Menadion kann somit als Provitamin angesehen werden.

Vitamin K₃ ist in Form verschiedener Salze als Futtermittelzusatzstoff ohne Einschränkungen bezüglich der Tierart, des Alters der Tiere, des Gehaltes oder der Futtermittelart zugelassen. Vitamin K₁ oder Vitamin K₂ dagegen besitzen keine futtermittelrechtliche Zulassung. Bei Lachsen führten jedoch Fütterungsversuche mit hohen Dosen Menadion (15 mg Menadion/ kg Fischfutter) verglichen mit Vitamin-K₁-haltigem Futter zu negativen Einflüssen auf das Wachstum und zu einer Erhöhung der Mortalität (Grisdale-Helland et al. 1991).

Tabelle 2 enthält die durchschnittlichen Vitamingehalte im rohen verzehrbaren Anteil der in Deutschland beliebtesten See- und Süßwasserfische.

Wasserlösliche Vitamine

Bislang wurden erst wenige Untersuchungen zur Aufklärung derjenigen Faktoren durchgeführt, die auf die Verteilung der wasserlöslichen Vitamine im Fischfleisch und der Leber einen Einfluß haben. Fütterungsversuche zeigen, daß bei Verabreichung steigender Mengen an wasserlöslichen Vitaminen ein Plateau erreicht wird (Lall et al. 1995).

Vitamin C ist das typische Vitamin des Pflanzenreiches. Meerestiere enthalten dagegen nur geringe Mengen an diesem Vitamin. Die meisten Fische sind unfähig, Ascorbinsäure zu synthetisieren, und deshalb auf die Aufnahme dieses Vitamins mit der Nahrung angewiesen. Die Ascorbinsäurekonzentration im Fischgewebe ist daher stark abhängig vom Ascorbinsäuregehalt der Nahrung.

Leber, Niere und Gehirn enthalten deutlich mehr Vitamin C als der Fischmuskel (Lall et al. 1995).

Die erforderliche Ascorbinsäuremenge der Nahrung ist von verschiedenen Faktoren abhängig wie Fischart, Fischgröße, Wachstumsrate, Wassertemperatur, Streß und bei Aquakulturfischen von den Herstellungs- und Lagerungsbedingungen des Futters. Dem Aquakulturfutter wird oftmals das gegenüber Sauerstoff sehr viel stabilere L-Ascorbyl-2-polyphosphat bzw. L-Ascorbyl-2-sulfat zugesetzt. Zahlreiche Autoren haben sich mit der unterschiedlichen biologischen Verfügbarkeit verschiedener Ascorbinsäureverbindungen im Futter beschäftigt. Eine Vitamin-C-freie Ernährung führte bei Salmoniden und Tilapien u.a. zu vermindertem Wachstum, sowie zu Wirbelsäulendefekten, Haemorrhagien und Störungen in der Blutzusammensetzung (Soliman et al. 1994). Auch das Schwarmverhalten der Fische wird vom Ascorbinsäuregehalt des Futters beeinflusst (Koshio et al. 1997).

Ascorbinsäure und ihre Derivate finden bei vielen Lebensmitteln Einsatz als Antioxidans. Die Hemmung der Ranzigkeit von Fischgewebe mit solchen Verbindungen konnte an verschiedenen Fischen bereits demonstriert werden. Der Zusatz des Antioxidans kann durch Mehrfachinjektion, Tauchbäder oder über das Futter erfolgen. Untersuchungen an lebendem Wels haben ergeben, daß der Fisch die Fähigkeit besitzt, gelöstes Vitamin C über die Kiemen und/oder den Darm aufzunehmen und im Muskelgewebe zu verteilen. Auf diese Weise ist es möglich, Aquakulturfischen wasserlösliche Antioxidantien zuzuführen (Thed et al. 1993). Eine Vakuumverpackung verhinderte das Ranzigwerden von gefrorenem Fischmus allerding besser als ein Zusatz von Antioxidantien (Hwang et al. 1989).

Fischerzeugnisse enthalten im Vergleich zu Fleischprodukten nur geringe Mengen an **Vitamin B₁** und **Vitamin B₂** (Lall et al. 1995). Diese beiden Vitamine kommen in nennenswerten Mengen lediglich in der dunklen Muskulatur dunkelfleischiger Fischarten sowie im Rogen und in der Leber verschiedener Fische vor. Eine beachtliche Menge an Vitamin B₂ ist in der Haut der Fische – besonders auf der Rückenseite bzw. bei Plattfischen auf der Augenseite – enthalten (Higashi 1962).

Ein spezielles Problem bei einigen Spezies ist das Vorkommen von Thiaminasen. Dieses das Thiamin (Vitamin B₁) zerstörende Enzym kommt in erster Linie in den Eingeweiden verschiedener Süßwasser- und Seefische vor. Unter den Süßwasserfischen ist Karpfen besonders reich an Thiaminase, während im Meer die Muscheln besonders reiche Quellen darstellen. Das thermolabile Enzym wird beim Kochen und Räuchern inaktiviert, ist jedoch während der Gefrierlagerung weiterhin wirksam (Lall et al. 1995, Higashi 1961, Brækkan 1962).

Die Körperorgane des Fisches wie Leber, Nieren und Milz enthalten mehr **Folsäure** als die Muskulatur (Lall et al. 1995). Die Folsäuregehalte der verschiedenen Spezies sind allgemein sehr niedrig. Auch die **Biotin**gehalte der Fische sind nicht besonders erwähnenswert. Untersuchungen verschiedener Fische ergaben, daß die dunkle Muskulatur deutlich mehr Biotin enthält als die helle Muskulatur des gleichen Fisches (Lall et al. 1995). Mit Ausnahme von Lachs und Forelle enthalten Fische im allgemeinen auch nur bescheidene Mengen an **Pantothersäure** (Lall et al. 1995, Braekkan 1962).

Fische und Krebse stellen eine sehr gute **Vitamin-B₁₂**-Quelle dar. Dunkelfleischige Fische wie Hering und Makrele zeichnen sich durch höhere Vitamin-B₁₂-Gehalte aus als weißfleischige Fische wie Kabeljau oder Plattfische (Lall et al. 1995). Die inneren Organe der Fische enthalten mehr Vitamin B₁₂ als das Muskelgewebe (Higashi 1961).

Fischfleisch ist ferner im allgemeinen reicher an **Vitamin B₆** als viele andere Nahrungsmittel (Higashi 1961). Süßwasserfische enthalten vergleichsweise weniger Vitamin B₆ als Seefische. Pelagische Fische wie Makrele, Hering und Thunfisch enthalten wiederum mehr Vitamin B₆ als auf dem Grund lebende Fische (Lall et al. 1995). Fütterungsversuche mit Lachs ergaben, daß bei steigendem Vitamin-B₆-Gehalt der Nahrung mehr Protein und weniger Fett synthetisiert wurde (Albrektsen et al. 1993).

Niacin kommt in mageren Fischen nur in geringen Mengen vor; in fetten Fischarten wie Makrele, Lachs, Sardine, Schwertfisch und Thunfischen findet man dagegen hohe Werte (Lall et al. 1995, Nettleton 1985a, Brækkan 1962). Es gibt keine grundlegenden Unterschiede zwischen den Gehalten bei Süßwasserfischen und Seefischen. Mobilere Fischarten enthalten mehr Niacin als weniger bewegliche Arten (Lall et al. 1995). Fische enthalten demnach im eßbaren Anteil an fettlöslichen Vitaminen das Vitamin D und einige Fischarten das Vitamin E in diätetisch wichtigen Mengen.

Von den wasserlöslichen Vitaminen sind Vitamin B₁₂, Niacin und Vitamin B₆ in so großen Mengen enthalten, daß mit einer Fischmahlzeit (200 g Filet) erhebliche Anteile des Tagesbedarfes gedeckt werden. Alle anderen Vitamine sind dagegen in unbedeutenderen Mengen vorhanden.

Vitamingehalte von wildlebenden Fischen und Fischen aus Aquakulturen

Die Vitamingehalte von Fischen aus Fischfarmen sind abhängig von dem verabreichten Futter, dem in der Regel synthetische Vitaminpräparate zugesetzt werden. Vergleicht man die Vitamingehalte von wildlebenden und in Aquakulturen aufwachsenden Fischen einer Art (Tabelle 3), so

Tabelle 3: Vitamingehalte von wildlebenden Fischen und Fischen aus Aquakulturen (Lall et al. 1995, S.177)
 Vitamin contents of wild and cultured fish (Lall et al. 1995, S.177)

Fisch		Vitamingehalte / 100 g eßbarem Anteil									
		Fett [%]	Retinol-Äquiv.	B ₁ [mg]	B ₂ [mg]	Niacin [mg]	B ₆ [mg]	Pant. [mg]	Folsäure [µg]	B ₁₂ [µg]	C [mg]
Wels	wild	2,3	< 30	0,21	0,06	1,91	0,12	0,76	10	2,2	< 1
	Zucht	11,3	< 30	0,38	0,07	2,24	0,19	0,64	10	2,5	0,6
Lachs (atl.)	wild	4,5	36	0,16	0,10	7,22	0,52	0,92	10	5,3	0,9
	Zucht	9,5	78	0,28	0,19	10,1	0,68	1,31	10	5,1	3,5
Silberlachs	wild	3,3	24	0,08	0,13	7,34	0,62	0,86	10	4,8	0,8
	Zucht	8,3	55	0,09	0,12	6,65	0,68	1,20	10	2,8	0,9
Regenbogenforelle	wild	4,6	< 30	0,14	0,08	5,48	0,41	0,97	10	4,8	1,8
	Zucht	5,4	84	0,20	0,07	8,22	0,62	1,44	10	3,8	2,9

stellt man fest, daß die Zuchtform stets über einen höheren Gehalt an Fett und an fettlöslichen Vitaminen verfügt. Die Unterschiede bei den wasserlöslichen Vitaminen sind dagegen jedoch relativ gering (Lall et al. 1995).

Verteilung der Vitamine innerhalb des Muskelfleisches

Fischfleisch besteht aus heller und dunkler Muskulatur, die sich in ihrer chemischen Zusammensetzung und Funktion unterscheiden. Den Hauptbestandteil des Fischfleisches bildet bei den meisten Fischarten die helle Muskulatur. Während diese der spontanen, raschen Fortbewegung dient, nutzen die Fische ihre dunkle Muskulatur zum kontinuierlichen, lang andauernden Schwimmen. Die dunkle Muskulatur ist daher bei pelagischen (d.h. im freien Wasser schwimmenden) Fischen wie Hering und Makrele besonders stark ausgeprägt. Sie liegt unter der Fischhaut und setzt sich in Höhe der Seitenlinie keilförmig zur Wirbelsäule hin fort (Franzke 1996).

Die dunkle Muskulatur der Fische weist aufgrund ihres höheren Fettgehaltes mehr Vitamin A, D und E auf als die helle Muskulatur. Tabelle 4 zeigt deutlich, daß bei

Abtrennung der dunklen Muskulatur auch ein hoher Prozentsatz der wasserlöslichen Vitamine entfernt wird (Higashi 1962, Braekkan 1962). Das dunkle Fleisch von Fischen enthält deutlich mehr Vitamin B₁, B₂, B₁₂ und Pantothensäure als das helle Fischfleisch. Auch Biotin ist bevorzugt in der dunklen Muskulatur anzutreffen. Es wurden allerdings keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Niacin- und Vitamin-B₆-Gehalten von hellem und dunklem Fischfleisch festgestellt (Higashi 1962).

Vitaminverluste bei der Verarbeitung von Fischen

Ausgehend vom frisch gefangenen Fisch bis hin zur fertig zubereiteten Fischmahlzeit kommt es zu mehr oder weniger großen Vitaminverlusten. Die Informationen darüber sind lückenhaft und betreffen nur einzelne Vitamine bei wenigen Fischarten.

Als Ursachen für Veränderungen des Vitamingehaltes während der Fischverarbeitung kommen in Frage (Escher et al. 1992):

- Mechanische Trennprozesse
- Auslaugung
- Chemische Reaktionen

Tabelle 4: Verteilung der wasserlöslichen Vitamine auf helles und dunkles Fischfleisch (Higashi 1962, S.127)
 Distribution of water soluble vitamins in light and dark fish meat (Higashi 1962, S.127)

Fischart	Teil des Fleisches	Vit. B ₁ [µg/g]	Vit. B ₂ [µg/g]	Vit. B ₁₂ [µg/100 g]	Pantothens. [µg/g]	Folsäure [µg/100 g]	Vit. B ₆ [µg/g]	Niacin [mg/100 g]
Makrele	hell	0,8	0,3	0,9	1,6	1,9	14	21,4
	dunkel	8,8	2,8	8,0	16	5,8	10	19,8
Stöcker	hell	1,5	0,8	0,3	-	-	-	-
	dunkel	3,3	7,8	7,8	-	-	-	-
Echter Bonito	hell	0,6	0,3	2,5	-	-	10,5	24,5
	dunkel	5,2	6,9	16,5	-	-	9	12,2

Mechanische Trennprozesse

Durch mechanische Trennprozesse - wie Köpfen, Ausnehmen, Enthäuten - ergeben sich relative Verluste und Anreicherungen von Vitaminen, vor allem dann, wenn die Vitaminkonzentrationen in den einzelnen Körperpartien unterschiedlich sind (Escher et al. 1992).

Mit der Entfernung der Eingeweide und anderer nicht eßbarer Körperpartien gehen oftmals große Teile der fettlöslichen Vitaminfraktion (Tabelle 5), aber z. T. auch beachtliche Mengen an wasserlöslichen Vitaminen verloren (Higashi 1962). Entsprechendes gilt auch – wie bereits gezeigt – für die Abtrennung der dunklen Muskulatur.

Auslaugung

Verluste vor allem von wasserlöslichen Vitaminen durch Auslaugung treten immer dann auf, wenn der Fisch in Wasser gegart und aufbewahrt oder in Aufgußflüssigkeit pasteurisiert und sterilisiert wird (Escher et al. 1992). Bei Fischerzeugnissen in Konservendosen können bis zu 35 % der wasserlöslichen Vitamine in die Aufgußflüssigkeit übergehen. Mit ähnlich hohen Verlusten an fettlöslichen Vitaminen ist bei Fischen zu rechnen, die in Öl eingedost werden, das meist nicht mitverzehrt wird (Bramsnaes 1962). Ferner sind die Wasserverluste beim Salzen von Fischen und Tropfsaftverluste beim Auftauen tiefgefrorener Fische (4,5 bis 15,2 %) als Quelle für Vitaminverluste zu nennen (Nettleton 1985b).

Tabelle 5: Verteilung von Vitamin A zwischen Fleisch und Eingeweide (Higashi 1962, S. 127)
Distribution of Vitamin A between meat and intestines (Higashi 1962, S. 127)

Fischart	Vitamin.A-Gehalt im	
	Fleisch [%]	Eingeweide [%]
Ketalachs	7	93
Echter Bonito	1	99
Neunauge	38	62
Aal	81	19
Meeraal	77	23

Chemische Reaktionen

Alle Vitamine sind mehr oder weniger instabil (Tabelle 6). Veränderungen im Vitamingehalt werden durch Abbaureaktionen bei Sauerstoff-, Hitze- und Lichteinwirkung sowie durch Reaktionen mit Inhaltsstoffen oder Zusatzstoffen des Lebensmittels hervorgerufen (Escher et al. 1992). Als oxidativ besonders gefährdet sind die fettlöslichen Vitamine A, D und E und das Vitamin C einzustufen.

All diese Vorgänge führen zu Veränderungen im Vitamingehalt von Fischerzeugnissen, wobei die einzelnen Vit-

amine auf den unterschiedlichen Stufen der Verarbeitung und Lagerung in unterschiedlichem Umfang betroffen sind.

Das **Ausmaß der Vitaminverluste** bei der Lagerung von Fisch ist im wesentlichen abhängig von der

- Temperatur (Kühl- oder Gefrierlagerung bzw. Lagerung bei Raumtemperatur) und Temperaturschwankungen
- Lagerdauer
- Art der Verpackung (Licht- und Sauerstoffdurchlässigkeit des Verpackungsmaterials, Wärmeaustausch).

Tabelle 6: Stabilität der Vitamine (Franzke 1996, Heiss et al. 1984, Lund 1979, Killeit 1987, Ottaway 1993)
Stability of the vitamins (Franzke 1996, Heiss et al. 1984, Lund 1979, Killeit 1987, Ottaway 1993)

Vitamin	Wärme	Sauerstoff	Licht	sauer pH < 7	neutral pH = 7	alkal. pH > 7
A	+/-	-	-	+/-	+	+
D	+/-	-	-	+	+	+/-
E	+/-	-	-	+	+	+
K	+	+	-	+	+	-
C	-	-	-	+	-	-
B ₁	-	-	+	+	-	-
B ₂	+/-	+	-	+	+	-
B ₆	+/-	+	-	+	+	+
B ₁₂	+	-	-	+	+	+
Biotin	+	+	+	+	+	+
Folsäure	+/-	+/-	-	-	+/-	+
Niacin	+	+	+	+	+	+
Pantothensäure	-	+	+	+/-	+	-

+ = relativ stabil
- = relativ instabil
+/- = widersprüchliche Angaben in der Literatur

Das Tiefgefrieren von Fisch kann als das Haltbarmachungsverfahren angesehen werden, bei dem der ernährungsphysiologische Wert des Erzeugnisses am besten erhalten bleibt (De Ritter 1982).

Bei der küchentechnischen Zubereitung von Lebensmitteln hängt die Höhe der Vitaminverluste von der Art der Vorbereitungsverfahren, dem Garverfahren, der Garzeit und -temperatur und der Aufbewahrung der zubereiteten Speisen ab (De Ritter 1982). Diese Faktoren bestimmen das Ausmaß der Auslaugverluste sowie den Abbau durch chemische Reaktionen.

Um eine Vorstellung über die Höhe der Garverluste bei der küchenmäßigen oder industriellen Zubereitung von Fisch zu bekommen, dienen die in Tabelle 7 exemplarisch für vier wasserlösliche Vitamine gezeigten Werte.

Angegeben sind die im gegarten Erzeugnis noch verbliebenen Vitamingehalte (ausgedrückt in %). Die Tabelle zeigt deutlich, daß die größten Verluste bei der Herstellung von Fischkonserven auftreten (Lall et al. 1995).

Um den Vitaminabbau bei der Lagerung von Konserven möglichst gering zu halten, sollten diese kühl gelagert werden (De Ritter 1982).

Das hitzelabile und oxidationsempfindliche **Vitamin B₁** wird bei der Herstellung von Konserven besonders leicht abgebaut. Die Verluste betragen bis zu 70 % (Lall et al. 1995, Higashi 1962, Bramsnaes 1962, Nettleton 1985b). Beim Salzen und Räuchern von Fischen war die Höhe der Vitamin-B₁-Verluste von der Menge des ausgetretenen Gewebewassers abhängig (Lall et al. 1995). Vitaminverluste traten auch bei der niedrig dosierten Bestrahlung von Fischerzeugnissen auf (Lall et al. 1995, Nettleton 1985b). Kein nennenswerter Vitaminabbau wurde dagegen bei der Gefrierlagerung von Fisch beobachtet (Tarr 1962). Bei thiaminasehaltigen Fischen traten jedoch große Vitamin-B₁-Verluste schon während der Kühllagerung von Frischfisch auf.

Tabelle 7: Einfluß verschiedener Garmethoden auf den Vitamin-Gehalt in Fischerzeugnissen (Mittelwerte von 6 Arten: Flunder, Rotlachs, Makrele, Alaska-Pollack, Wittling, Garnele) (Lall et al. 1995, S. 181)

Influence of different cooking methods on vitamin contents in fish products (mean values of flounder, red (sockeye) salmon, mackerel, Alaska pollack, whiting, shrimp) Lall et al. 1995, S. 181)

Garverfahren	Vitamin B ₁	Vitamin B ₂	Niacin	Vitamin B ₁₂
Backen	96	100 ***	99	100
Grillen	93	100	98	90
Mikrowelle	95	96	99	96
Panieren und Braten*	97	100	100	95
Fischkonserve**	34	66	78	65

* nur Pollack, Wittling und Garnelen
 ** nur Lachs, Makrele und Garnelen
 *** die angegebenen Gehalte lagen wegen des Flüssigkeits- und Fettverlustes während der Herstellung über 100 %

Abweichend von den in Tabelle 7 gemachten Angaben berichten einzelne Autoren auch von deutlich höheren Verlusten bei der Zubereitung von Fisch. So wurden beim Braten und Grillen von Fischen Vitamin-B₁-Verluste von ca. 20 bis 60 %, beim Dünsten von 15 bis 50 % und beim Backen von etwa 30 % gemessen (Miuccio et al. 1974, Severi et al. 1997).

Die **Vitamin-C**-Gehalte nehmen bei der Herstellung von Fischkonserven ebenfalls stark ab (Higashi 1962, Nettleton 1985b). Die Ascorbinsäureverluste beim Räuchern

von Makrelen betragen nur ca. 4 % (Bhuiyan 1993). Dagegen wurden große Vitamin-C-Verluste beim Kochen sowie bei der Bestrahlung von Fischen festgestellt (Lall et al. 1995, Nettleton 1985b). Vitaminverluste treten bei der Gefrierlagerung und später beim Auftauen des Gefriergutes auf.

Die anderen B-Vitamine wie Vitamin B₂, Niacin und Vitamin B₁₂ erweisen sich bei der Herstellung von Fischkonserven als deutlich stabiler (Lall et al. 1995, Nettleton 1985b).

Verluste an dem hitzestabilen **Vitamin B₂** in Fischerzeugnissen beruhen meist auf einem Übergang dieses Vitamins ins Kochwasser, Waschwasser oder Abtropfwasser beim Auftauen (Lall et al. 1995). Keine nennenswerten Verluste wurden beim Räuchern und Gefrieren, Braten und Dämpfen festgestellt (Lall et al. 1995, Bhuiyan et al. 1993). Vitamin B₂ erwies sich auch bei der niedrig dosierten Bestrahlung von Fisch als sehr stabil (Nettleton 1985b). Vitamin B₂ ist allerdings sehr lichtempfindlich. Dies führt zu größeren Verlusten beim Trocknen und Salzen bestimmter tropischer Produkte.

Niacin ist eine recht stabile Verbindung, so daß während der Fischverarbeitung nur mit geringen Verlusten (Tabelle 7) zu rechnen ist, sofern Auslaugverluste weitgehend vermieden werden können (Lall et al. 1995). Einige Autoren haben allerdings bei der Zubereitung von Fischen auch deutlich höhere Abnahmen des Niacingehaltes festgestellt: Beim Dünsten von Fischen wird von Niacinverlusten um 10 bis 35 %, beim Backen, Braten und Grillen von Vitaminverlusten von 20 bis 35 % berichtet (Miuccio et al. 1974, Severi et al. 1997). Während der niedrig dosierten Bestrahlung und Räucherung von Fisch gingen nur minimale Mengen an Niacin verloren (Lall et al. 1995; Bhuiyan et al. 1993; Nettleton 1985b). Bei der Herstellung von Fischkonserven sank der Niacingehalt um ca. 15-20 % (Lall et al. 1995; Gordon et al. 1982).

Auch im Falle des **Vitamins B₁₂** und **Biotins** kommt es bei der Zubereitung von Lebensmitteln nicht zu nennenswerten Vitaminverlusten (Tarr 1962; Severi et al. 1997). Vitamin B₁₂ ist stabil in gefrorenem und geräuchertem Fisch (Tarr 1962).

Aufgrund der Wärmeempfindlichkeit der **Folsäure** treten teilweise sehr hohe Verluste bei der Herstellung von Fischkonserven (Bramsnaes 1962) sowie beim Kochen und Braten von Fisch auf (Burt 1988).

Im Gegensatz dazu konnten beim Braten und Dämpfen sowie beim Räuchern von Fisch keine bzw. nur geringe **Pantothensäure**verluste festgestellt werden (Lall et al. 1995; Tarr 1962).

Die Verluste an **Vitamin B₆** betragen beim konventionellen Kochen und Braten von Fisch bis zu 55 % (Miuccio et al. 1974). Beim Garen in der Mikrowelle treten geringere Verluste auf. Nach 5monatiger Lagerung von tiefgefrorenen Fischen bei $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ wurden Vitaminverluste von ca. 60 % gemessen (Vedrına-Dragojevic et al. 1994). Bei der Herstellung von Fischkonserven werden ebenfalls große Mengen an Vitamin B₆ (bis zu 50 %) abgebaut (Schroeder 1971; De Ritter 1982).

Während des konventionellen Trocknens von Fisch betragen die Verluste an wasserlöslichen Vitaminen weniger als 10 %. Deutlich größere Vitaminverluste wurden dagegen in hart gesalzenem und getrocknetem Fisch festgestellt (Burt 1988).

Vitamin A weist bei den üblichen Zubereitungsmethoden im Haushalt eine beachtliche Stabilität auf. Selbst beim Räuchern von Makrele, Lachs und Hering nahm der Vitamin-A-Gehalt nur geringfügig ab (Lall et al. 1995, Cutting 1962). Vitamin-A-Verluste von weniger als 10 % wurden bei der Herstellung von Konserven aus Lachs, Makrele und Schwertfisch festgestellt (De Ritter 1982). Aus Fischen, die mit Öl eingedost werden, geht ein Teil des in ihrem Körperfett vorhandenen Vitamins A in das zugegebene Öl über. Die Vitamin-A- und Carotinverluste beim Lagern von Dosenkonserven sind nur gering. Vitamin A erweist sich während der Gefrierlagerung als relativ stabil, solange eine Fettoxidation vermieden werden kann (Bramsnaes 1962).

Beim Räuchern von Makrele und Hering konnte nur ein geringer Verlust an **Vitamin D** festgestellt werden (Lall et al. 1995). Auch beim Kochen und Konservenherstellen wurde nur eine geringe Abnahme des Vitamin-D-Gehaltes beobachtet (Burt 1988). Das Vitamin wird von oxidierenden Fetten zerstört. Bei der Raffination von Fischöl treten große Verluste der Vitamine A, D und E auf.

Bei der Heißräucherung von Makrelen wurden keine Verluste an **Vitamin E** festgestellt (Bhuiyan 1993). Auch beim 35-minütigen Dünsten von Heringsfilets im Ofen bei $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ wurde nur etwa 5 % des ursprünglichen Vitamin-E-Gehaltes zerstört (Piironen et al. 1987).

Erhöhte Vitamin-E-Gehalte verbesserten aufgrund ihrer antioxidativen Wirkung die Lagerstabilität von Fischen. Dies ergab sowohl die chemische als auch die sensorische Untersuchung (Frigg et al. 1990). Während der Tiefgefrierlagerung nahmen die Tocopherolgehalte zunächst nur langsam ab, mit fortschreitender Fettoxidation dann jedoch recht schnell (Lall et al. 1995). Glasuren mit synthetischen Antioxidantien (z.B. BHA) schützten Makrelen sehr viel effektiver vor Ranzigkeit als dies bei Vitamin-E-haltigen Glasuren der Fall war.

Die Vitamine gilt es bei der Verarbeitung von Fischen durch eine möglichst schonende Zubereitung zu erhalten. Hohe Auslaugverluste und langes Warmhalten von Fischgerichten sind zu vermeiden. Auch die unsachgemäße Lagerung von Fischen kann bereits zu einem deutlichen Vitaminabbau führen. Allgemein hohe Vitaminverluste treten bei der Herstellung von Fischkonserven auf.

Untersuchungsbedarf

In den Nährwert-Tabellen von Souci-Fachmann-Kraut fehlen noch zahlreiche Angaben von Vitaminen in Fischen und Fischerzeugnissen. Umfangreiche Untersuchungen sind notwendig, um diese Lücken zu schließen. Die früher zumeist mit mikrobiologischen Verfahren bestimmten Vitamingehalte müssen mit spezifischeren und empfindlicheren Analysemethoden überprüft werden. Auch die Vitaminverluste bei der Fischverarbeitung sollten weiter erforscht werden, ebenso wie der Einfluß neuer Technologien – Hochdrucksterilisation oder SB-Verpackung von Frischfisch – auf den Vitamingehalt.

Danksagung

Herrn Dr. Volker Hilge danke ich für die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

Zitierte Literatur

- Albrektsen, S.; Waagbo; Sandnes, K.: Tissue vitamin B₆ concentrations as aspartate aminotransferase activity in Atlantic Salmon fed graded dietary levels of vitamin B₆. *Fisk. Dir. Skr., Ser. Ernæring* 6: 21-34, 1993
- Bhuiyan, A.K.M.; Ratnayake, W.M.N.; Ackman, R.G.: Nutritional composition of raw and smoked Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*): Oil- and water-soluble vitamins. *J. Food Compos. Anal.* 6: 172-184, 1993
- Brækkan, O.R.: B-Vitamins in fish and shellfish; B-Vitamins in some fish products. In: Heen, E.; Kreuzer, R. (Eds.): *Fish in Nutrition*. London: Fishing News (Books) Ltd. S. 132-140; 141-145, 1962
- Bramsnaes, F.: The influence of refrigeration and canning on the nutritive value of fish. In: Heen, E.; Kreuzer, R. (Eds.): *Fish in Nutrition*. London: Fishing News (Books) Ltd. S. 153-160, 1962
- Burt, J.R. (Ed.): The effect of drying and smoking on the vitamin content of fish. In: *Fish smoking and drying*. London: Elsevier. S. 53-60, 1988
- Cutting, C.L.: The influence of drying, salting and smoking on the nutritive value of fish. In: Heen, E.; Kreuzer, R. (Eds.): *Fish in Nutrition*. London: Fishing News (Books) Ltd. S. 161-179, 1962
- De Ritter, E.: Effect of processing on nutrient content of food: vitamins. In: Rechcigl, M.R.: *Handbook of Nutritive Value of Processed Food, Vol I*. Boca Raton: CRC Press, S. 473-510, 1982
- Escher, F.; Guggenbühl Gasser, B.: Stabilität von Vitaminen bei der Verarbeitung von Lebensmitteln. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* 83: 254-269, 1992

- Franzke, C. (Hrg.): Allgemeines Lehrbuch der Lebensmittelchemie, 3. Auflage. Hamburg: Behr's Verlag, S. 147–155, 1996
- Frigg, M.; Prabucki, A.L.; Ruhdel, E.U.: Effect of dietary Vitamin E levels on oxidative stability of trout fillets. *Aquaculture* 84: 145–158, 1990
- Gordon, D.T.; Martin, R.E.: Vitamins and minerals in seafoods of the pacific northwest. In: Martin, R.E.; Flick, G.F.; Hebard, C.E.; Ward, D.R. (Eds.): Chemistry and Biochemistry of Marine Food Products. Westport (Connecticut): AVI Publishing Company, S. 429–445, 1982
- Grisdale-Helland, B.; Helland, S.J. Asgard, T.: Problems associated with the present use of menadione sodium bisulfite and vitamin A in diets for Atlantic salmon. *Aquaculture* 92: 351–358, 1991
- Heiss, R.; Eichner, K. (Hrg.): *Haltbarmachen von Lebensmitteln*. Berlin: Springer Verlag, S. 19, 1984
- Higashi, H.: Vitamins in fish - with special reference to edible parts. In: Borgstrom, G. (Ed.): *Fish as Food*. Vol. I. London: Fishing News (Books) Ltd. S. 411–486, 1961
- Higashi, H.: Relationship between processing techniques and the amount of vitamins and minerals in processed fish. In: Heen, E.; Kreuzer, R. (Eds.): *Fish in Nutrition*. London: Fishing News (Books) Ltd. S. 125–131, 1962
- Hwang, K.T.; Regenstien, J.M.: Protection of Menhaden mince lipids from rancidity during frozen storage. *J. Food Sci.* 54: 1120–1124, 1989
- Killeit, U.: *Zur Stabilität der Vitamine*. Grenzach-Wyhlen: Hoffmann-La Roche, 1987
- Koshio, S.; Sakakura, Y.; Iida, Y.; Tsukamoto, K.; Kida, T.; Drabowski, K.: The effect of vitamin C intake on schooling behavior of amphidromous fish, *Ayu Plecoglossus altivelis*. *Fish. Sci.* 63: 619–624, 1997
- Lall, S.P.; Parazo, M.P.: Vitamins in fish and shellfish. In: Ruiter, A. (Ed.): *Fish and Fishery Products*. New York: CAB International. S. 157–186, 1995
- Lopez, M.C.; Satue, M.T.; Gonzalez, M. L.; Agramont, A.: α -Tocopherol content in trout oil, *Food Chemist.* 53: 67–70, 1995
- Lund, D.B.: Effect of commercial processing on nutrients. *Food Technol.* 33: 28–34, 1979
- Mann, H.: Der Vitaminbedarf bei Fischen. *Fette, Seifen, Anstrichm.* 72: 1079–1083, 1970
- March, B.E.: Effect of processing on nutritive value of food fish. In: Rechcigl, M.R. (Ed.): *Handbook of Nutritive Value of Processed Food*, Vol I. Boca Raton: CRC Press, S. 363–381, 1982
- Miuccio, C.; Florid, S.; Fidanza, A.; Fraton, A.: Effetti indotti dalla cottura sul contenuto in alcune vitamine di diverse specie di pesci surgelati. *Acta vitamin. enzymol. (Milano)* 28: 35–38, 1974
- Nettleton, J.A.: *Seafood Nutrition, Facts, Issues and Marketing of Nutrition in Fish and Shellfish*. Huntington: Osprey Books, S. 44–54, 1985a
- Nettleton, J.A.: *Seafood Nutrition, Facts, Issues and Marketing of Nutrition in Fish and Shellfish*. Huntington: Osprey Books. S. 87–108, 1985b
- Olson, J.A.: Provitamin A function of carotenoids: the conversion of b-carotene into vitamin. *A. J. Nutr.* 119: 105–108, 1989
- Ottaway, P.B. (Ed.): *Stability of vitamins in food*. In: *The Technology of Vitamins in Food*. London: Chapman & Hall. S. 111, 1993
- Piironen, V.; Varo, P.; Koivistoinen, P.: Stability of tocopherols and tocotrienols in food preparation procedures, *J. Food Comp. Anal.* 1: 53–58, 1987
- Schroeder, H.A.: Losses of vitamins and trace minerals resulting from processing and preservation of foods. *Am. J. Clin. Nutr.* 24: 562–573, 1971
- Severi, S.; Bedogni, G.; Manzieri, A.M.; Poli, M.; Battistini, N.: Effects of cooking and storage methods on the micronutrient content of foods. *Eur. J. Canc. Prev.* 6 (Suppl. 1): 21–24, 1997
- Sidwell, V.D.; Loomis, A.L.; Foncannon, P.R.; Buzzell, D.H.: Composition of the edible portion of raw (fresh or frozen) crustaceans, finfish, and mollusks. IV. Vitamins, *Mar. Fish. Rev.* 40 (12): 1–16, 1978
- Soliman, A.K.; Jauncey, K.; Roberts, R.J.: Water-soluble vitamin requirements of tilapia: ascorbic acid requirement of Nile tilapia. *Aquac. Fish. Manage.* 25: 269–278, 1994
- Souci, S.W.; Fachmann, W.; Kraut, H.: *Die Zusammensetzung der Lebensmittel, Nährwert-Tabellen*, 5. Auflage, Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH. S. 379–496, 1994
- Takeuchi, A.; Okano, T.; Sayamoto, M.; Sawamura, S.; Kobayashi, T.; Motosugi, M.; Yamakawa, T.: Tissue distribution of 7-Dehydrocholesterol, Vitamin D₃ and 25-Hydroxyvitamin D₃ in several species of fishes. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 32: 13–22, 1986
- Tarr, H.L.A.: Changes in nutritive value through handling and processing procedures. In: Borgstrom, G. (Ed.): *Fish as Food*. New York, London: Academic Press, Vol II. S. 235–266, 1962
- Theed, S.T.; Erickson, M.C.; Shewfelt, R.L.: Ascorbate absorption by live Channel Catfish as a function of ascorbate concentration, pH, and duration of exposure. *J. Food Sci.* 58: 75–78, 1993
- Vedrinaro-Dragojevic, I.; Sebecic, B.: Effect of frozen storage on the degree of vitamin B₆ degradation in different foods. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 198: 44–46, 1994