

Sektion Biologie der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, WB
Tierphysiologie

Zur Beeinflussung der Fettsäurezusammensetzung
in Organen von Regenbogenforellen
durch Temperatur, Salinität und Futterqualität

**The Influence of Temperature, Salinity and Food Quality
on the Composition of Fatty Acids in Organs of Rainbow Trout**

VON ARNO WATERSTRAAT UND LUDWIG SPANNHOF

Mit 3 Abbildungen

Abstract

In the hydrolysates of liver, white muscle and mesenterium we found 26 fatty acids by the method of gas chromatography. 80—90% of the fatty acids were: palmitic-, palmetoleic-, stearin-, oil-, linolenic- and docosahexan acid. In the liver we found the highest concentration (30—38%) of essential ω -3 fatty acids, in the white muscle and mesenterium the concentrations were 25—34% respectively only 10%. The content of unsaturated fatty acids was 50% in the fat of mesenterium. At temperatures 3—6 °C the concentration of ω -3 fatty acids increased in the liver (+25%), white muscle (+15%), and mesenterium (+8%). 20‰ salinity decreased the concentration of ω -3 fatty acids, especially at temperatures 12—16 °C. The loss of ω -3 fatty acids is 20—30%, depending to temperature, salinity and quality of food. There are interactions between the 3 factors to the fatty acid composition in the investigated organs.

I. Einleitung

Der Lipidstoffwechsel bei Fischen ist vielfach Gegenstand von Untersuchungen gewesen. Dabei standen unterschiedliche Fragen im Vordergrund. Einmal sollte geklärt werden, wie weit sich verschiedene Lipidgehalte auf die Verwertung von Futtermitteln auswirken. Von besonderer Bedeutung war dabei die Frage nach dem Proteinspareffekt, d. h., der Möglichkeit, die Proteinretention durch Verfütterung von Lipid zu erhöhen. Grundlegende Untersuchungen hierzu finden sich u. a. bei LEE and PUTNAM (1973), SINNHUBER et al. (1972), STEFFENS und ALBRECHT (1977) oder WATANABE (1982). Ein anderer Gesichtspunkt ist die Frage des Intermediärstoffwechsels von Lipiden beim Fisch, deren Transport im Blut, dem Lipidumsatz in einzelnen Organen, der hormonellen Regulation oder der Effektivität katabolischer oder anabolischer, enzymatisch gesteuerter Prozesse. In Arbeiten von SIRE et al. (1981), JEZIERSKA et al. (1982), MEIER and BURNS (1976) oder BALDWIN and REED (1976) werden diese Probleme diskutiert. Ein dritter Problemkreis befaßt sich mit dem Einfluß von Umweltfaktoren auf den Lipidstoffwechsel, wobei im Vordergrund die Temperatur steht (WODTKE 1978; HAZEL 1979), aber auch die Tagesrhythmik bzw. saisonale Effekte berücksichtigt wurden (SPANNHOF

et al. 1983; SEIFERT et al. 1983). Von besonderer Bedeutung sind Untersuchungen zum Umsatz essentieller Fettsäuren, sowie deren Bedarf, wie sie von CASTELL et al. (1972) sowie WATANABE et al. (1974) vorgelegt wurden. Es war zu erwarten, daß unter dem Einfluß der Salinität der Stoffwechsel von Fettsäuren und möglicherweise auch der Bedarf an essentiellen Fettsäuren bei Regenbogenforellen als euryhalinen Fischen in Mitleidenschaft gezogen wird, nachdem DAIKOKU et al. (1982) beim Guppy (einem Süßwasserfisch) Wirkungen der Salinität auf den Fettstoffwechsel nachweisen konnten. Des weiteren war zu erwarten, daß die Salinität als Umweltfaktor in Wechselwirkung mit weiteren Umwelteinflüssen, vor allem der Temperatur wirkt.

Mit der folgenden Untersuchung ging es uns darum, diese Wirkungen und/oder Wechselwirkungen genauer zu analysieren und festzustellen, wie weit bei der Anpassung von Regenbogenforellen — also einem Vertreter der euryhalinen Fische — an Brackwasser verschiedener Konzentrationen der Umsatz von Fettsäuren eine Rolle spielt.

2. Material und Methoden

2.1. Tiermaterial und -haltung

Für die Versuche verwendeten wir Regenbogenforellen zwischen 30 bis 50 g, die aus einem Aufzuchtbetrieb im Norden der DDR stammten. Es handelt sich dabei um Tiere, über deren genetische Identität wir keine Aussagen machen können. Sie wurden für die Versuche zufällig auf Aquarien mit 100 l Inhalt zu Gruppen mit jeweils 12 Tieren verteilt, bzw. sie wurden in 600-l-Plastcontainern gehalten (Versuch III). Vor Versuchsbeginn erfolgten Wägungen der Tiere, die mit MS 222 (0.02 %) betäubt waren. Die Fütterung erfolgte mit kommerziellen Pellets oder einer halbsynthetischen Diät (Tab. 2). Die Haltung erfolgte in Leitungswasser, das mindestens 8 Tage vorher stark belüftet wurde oder Mischungen von Leitungs- mit Nordseewasser. Je nach Verschmutzungsgrad wurde im Schnitt alle 5 Tage ein Wasserwechsel vorgenommen.

Zum Versuchsende wurden die Tiere meist 24 Stunden nach einer letzten Fütterung durch Kopfschlag getötet und die zu untersuchenden Organe entnommen. Alle Proben wurden nach dem Wiegen mit CO₂ begast, um Oxidationsprozesse zu vermeiden und in Glasröhrchen mit Schließstopfen bei -20 °C gelagert.

Aus den Proben wurden die Lipide nach einer von FOLCH et al. (1957) angegebenen Methode extrahiert und mit einer Methode von HUŠEK (1969) methyliert. Die Proben wurden gaschromatographisch auf ihren Fettsäuregehalt hin analysiert, dazu diente ein Chromatron GCHF 18.3—4 (Fa. CHROMATRON) mit Flammionisationsdetektor. Wir verwendeten eine 3-m-Glassäule von 3 mm Ø mit 10%igem Diethylen glycolsuccinatpolyester auf Cherapol. Die qualitative und quantitative Bestimmung der Fettsäuren erfolgte mit Standards (SERVA) sowie den allgemeinen Regeln auf der Basis der relativen Retentionszeiten (RŽAVSKAJA 1972).

Die Auswertung erfolgte im wesentlichen über Mittelwertvergleiche mit Hilfe des t-Testes nach STUDENT oder WELCH (CAVALLI-SFORZA 1972; CLAUS und EBNER 1967). Mit Hilfe der Varianzanalyse (Kreuzklassifikation bei ungleicher Klassenbesetzung) nach RASCH (1960) wurden Haupt- oder Wechselwirkungen von Umweltfaktoren überprüft. Die hierfür notwendigen Versuchsanordnungen sind aus der Tabelle 1 ersichtlich. In allen Versuchen wurde das Wachstum der Tiere verfolgt und als spezifische Wachstumsrate berechnet:

$$W_r = \left(\left[\frac{W_t}{W_0} \right]^{\frac{1}{t}} - 1 \right) \cdot 100,$$

wobei W₀ = Anfangsmasse, W_t = Endmasse, t = Versuchsdauer in Tagen.

2.2. Versuchsanordnungen

Tabelle 1. Analyse der Beeinflussung von Fettsäuren in Organen von Regenbogenforellen durch Temperatur, Salinität (I + II) und Futterqualität (III)

	Versuchsgruppe								
	I/1	I/2	I/3	I/4	I/5	I/6	I/7	I/8	I/9
Temperatur °C	2,0	2,0	2,0	8,0	8,0	8,0	16,0	16,0	16,0
Salinität ‰	Fw	10	25	Fw	10	25	Fw	10	25
Tiermasse (W ₀) in g	46,5	51	54	47	51	46	49	54	47
Lichtphase	6 bis 18 Uhr								
Jahreszeit	März bis April								
Futtermenge in % Körpermasse	0,56	0,42	0,39	0,83	0,88	1,10	1,20	—	1,40
Dauer des Versuches in Tagen	30	30	30	31	31	31	29	—**	29

	Versuchsgruppe								
	II/1	II/2	II/3	II/4	II/5	II/6	II/7	II/8	II/9
Temperatur °C	3,0	3,0	3,0	10,0	10,0	10,0	16,0	16,0	16,0
Salinität ‰	Fw	9	20	Fw	9	20	Fw	9	20
Tiermasse (W ₀) in g	57	48	50	55	43	54	46	55	47
Lichtphase	6 bis 18 Uhr								
Jahreszeit	April bis Mai								
Futtermenge in % Körpermasse	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5
Dauer des Versuches in Tagen	30	30	30	31	31	31	32	32	32

	Versuchsgruppe						
	III/1	III/2	III/3	III/4	III/5	III/6	III/7
Temperatur °C	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
Salinität ‰	Fw	8	8	8	20	20	20
Futter*	B	A	B	C	A	B	C
Fett-% im Futter	12	18	12	6	18	12	6
Protein-% im Futter	42	32	42	52	32	42	52
Futtermenge in % Körpermasse	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Tiermasse (W ₀) in g	27	29	30	29	29	29	30
Lichtphase	natürliche Photoperiode						
Jahreszeit	November bis Januar						
Dauer des Versuches in Tagen	-----51-----						

* s. Tabelle 2

** Versuchstiere verstorben

3. Ergebnisse

In den Tab. 3—6 sowie den Abb. 1—3 sind die Ergebnisse dargestellt. Ganz allgemein fällt auf, daß Unterschiede zwischen Mittelwerten gering sind, wenn man dies jeweils für ein Organ betrachtet. Zwischen den Organen sind die Unterschiede dagegen teilweise beträchtlich.

3.1. Beeinflussung des Gesamtfettgehaltes

In der Leber liegt die Gesamtfettmasse — unabhängig von der jeweiligen Versuchsgruppe — um 30 bis 40% über der des weißen Muskels. Am deutlichsten sind die Differenzen im mittleren Temperaturbereich (Tab. 3, 4).

Tabelle 2. Rohnährstoff- und Fettsäurezusammensetzung der verwendeten Futtermittel, Angaben auf Trockenmasse bezogen

Versuchsgruppe	Forellenaufzuchtfutter		halbsynthetische Kaseindiät		
	I	II	III: A	B	C
Rohprotein %	50	47	32	42	52
Asche %	5,3	5,7	4,5	4,9	4,8
Rohfett	6,3	7,1	18	12	6
davon ges. Fettsäuren	24,6 %	33,2 %	25,1 %	25,1 %	25,1 %
davon Monoenes	39,3 %	35,4 %	29,5 %	29,5 %	29,5 %
davon PUFA	31,7 %	31,9 %	42,2 %	42,2 %	42,2 %
darunter: ω -3-FS	15,4 %	19,4 %	40,3 %	40,3 %	40,3 %
ω -6-FS	16,3 %	12,5 %	1,9 %	1,9 %	1,9 %
C _{22:6ω3} -FS	6,5 %	11,7 %	5,2 %	5,2 %	5,2 %
Anteil von essen- tiellen FS	0,97 %	1,38 %	7,25 %	4,82 %	2,41 %

Die Diäten A, B, C wurden in Anlehnung von HALVER (1957) auf Kaseinbasis mit Sonnenblumen- und Makrelenöl angesetzt. FS — Fettsäuren, PUFA — mehrfach ungesättigte Fettsäuren

In der Leber beeinflußt die Temperatur den Gesamtfettgehalt im Sinne einer deutlichen Senkung bei 16 °C, wohingegen bei 2 und 10 °C die gefundenen Fettkonzentrationen gleich sind. Die Salinität führt im mittleren Bereich zu einer geringfügigen Steigerung der Leberfettkonzentration.

Im weißen Muskel fällt die Fettkonzentration mit steigender Temperatur, wobei jedoch der Unterschied zwischen 3 und 10 °C geringer ist als zwischen 10 und 16 °C. Die Salinität wirkt gegensinnig zur Temperatur: bei 20 ‰ sind die Werte deutlich höher als bei 9 ‰ und im Süßwasser, wo sie sich nicht unterscheiden.

Vergleicht man die Tendenzen der temperatur- oder salinitätsbedingten Veränderungen in Leber und Muskel, dann erscheinen sie gleich, soweit es die Temperatur betrifft, bei der Salinität hingegen kommt es in der Leber zu einer geringfügigen Konzentrationssteigerung bei 10 ‰, im Muskel nimmt die Fettkonzentration mit der Salinität allmählich zu.

3.2. Beeinflussung der prozentualen Verteilung einzelner Fettsäuren oder Fettsäuregruppen in Leber, weißem Muskel und Mesenterialfett durch Temperatur und Salinität (Tab. 3—5, Abb. 1—3)

Die gesättigten Fettsäuren sind prozentual in der Leber am häufigsten, im Mesenterium am geringsten. Gegenüber Temperaturänderungen verhalten sie sich in allen 3 untersuchten Organen annähernd gleich: Es gibt einen geringen, signifikanten Anstieg mit der Temperatur. Im Mesenterialfett und der Leber ist eine Wechselwirkung zwischen Temperatur und Salinität signifikant, im Muskel liegen keine Differenzen

Tabelle 3. Beeinflussung der Fettsäurezusammensetzung in der Leber von Regenbogenforellen durch Temperatur und Salinität: angegeben ist jeweils der prozentuale Anteil der Fettsäuren oder Fettsäuregruppen am Gesamtspektrum einer Versuchsgruppe, n = 7. Fm — Frischmasse, Fw — Süßwasser

	Versuchsgruppe								
	I/1	I/2	I/3	I/4	I/5	I/6	I/7	I/8	
Temperatur °C	2,0	2,0	2,0	10,0	10,0	10,0	16,0	16,0	
Salinität ‰	Fw	10,0	25,0	Fw	10,0	25,0	Fw	25,0	
Fettgehalt mg/g FM	\bar{x}	40,9	39,6	38,0	37,3	39,6	41,8	34,0	33,6
	s	5,0	2,4	7,0	3,3	5,4	4,2	7,3	5,9
gesättigte Fettsäuren	\bar{x}	32,7	34,6	33,2	36,2	33,2	35,7	38,2	37,0
	s	2,6	1,8	2,6	3,2	3,2	2,1	3,2	3,7
Monoenes	\bar{x}	16,9	18,7	17,5	17,8	17,5	17,8	22,7	21,0
	s	0,8	2,4	1,6	2,1	1,3	1,1	2,4	3,4
ω -3-Fettsäuren	\bar{x}	40,3	37,7	39,5	35,9	38,5	36,2	29,5	32,6
	s	1,9	3,4	2,9	4,8	2,4	2,1	5,0	5,3
ω -6-Fettsäuren	\bar{x}	8,5	7,9	8,0	7,5	8,3	8,6	7,9	8,3
	s	0,8	0,8	1,1	0,8	1,3	0,9	1,0	1,0
C _{18:0} -Fettsäuren	\bar{x}	6,0	6,0	5,8	7,7	7,6	7,0	8,4	7,7
	s	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5	1,3	1,6
C _{22:6ω-3} -Fettsäuren	\bar{x}	38,0	35,1	37,1	33,6	36,2	34,0	28,0	30,6
	s	2,1	2,9	2,4	4,5	2,4	2,4	5,5	2,4

Nach varianzanalytischer Auswertung beeinflusst die Temperatur alle untersuchten Fettsäuren oder -gruppen. Eine Hauptwirkung der Salinität liegt in keinem Falle vor, Wechselwirkungen von Temperatur und Salinität beeinflussen die gesättigten, die ω -3-, ω -6- sowie die C_{22:6 ω -3}-Fettsäuren.

Statistisch signifikante Differenzen innerhalb der Versuchsgruppen (Mittelwertvergleiche, t-Test): p = 0,05 = +, p = 0,01 = \bar{x} .

Versuchsgruppen		gesättigte Fettsäuren								ω -3-Fettsäuren								C _{18:0} -Fettsäure							
I/	1 2 3 4 5 6 7 8	I/	1 2 3 4 5 6 7 8	I/	1 2 3 4 5 6 7 8	I/	1 2 3 4 5 6 7 8	I/	1 2 3 4 5 6 7 8	I/	1 2 3 4 5 6 7 8	I/	1 2 3 4 5 6 7 8	I/	1 2 3 4 5 6 7 8	I/	1 2 3 4 5 6 7 8								
1	. . + . . x +	1	. . . . . x x x	1	. . . . . x x x +	2	. . . . . x .	2	. . . . . x x x x +	3	. . . . . x +	3	. . . . . x x x x +	4	. . . . . . . .	4	
2	. . . . . + .	2	. . . . . x .	2	. . . . . x .	5	. . . . . x +	5	. . . . . . . .	6	. . . . . . . .	6	. . . . . . . .	7	. . . . . . . .	7	
3	. . . . . x +	3	. . . . . + x +	3	. . . . . + x +	6	. . . . . x .	6	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	
4	. . . . . . . .	4	. . . . . + .	4	. . . . . + .	7	. . . . . . . .	7	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	
5	. . . . . . + .	5	. . . . . x +	5	. . . . . x +	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	
6	. . . . . . . .	6	. . . . . x .	6	. . . . . x .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	
7	x x x x x x .	7	. . . . . . . .	7	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	
8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	. . . . . . . .	8	
	Monoenes		ω -6-Fettsäuren		C _{22:6ω-3} -Fettsäuren																				

vor. Während aber im Mesenterialfett das Maximum im 20‰-Bereich auftritt, findet man in der Leber ein Minimum bei 10‰; im Süßwasser und bei 20‰ ist der prozentuale Anteil gesättigter Fettsäuren nicht verschieden (Abb. 1).

Die Monoenes (Abb. 1) sind prozentual im Mesenterialfett am häufigsten, in der Leber liegt ihr Anteil um 2/3 niedriger, der weiße Muskel nimmt eine Mittelstellung ein.

Tabelle 4. Beeinflussung der Fettsäurezusammensetzung im weißen Muskel von Regenbogenforellen durch Temperatur und Salinität: angegeben ist jeweils der prozentuale Anteil der Fettsäure oder Fettsäuregruppe am Gesamtspektrum einer Versuchsgruppe. FM — Frischmasse, Fw — Süßwasser

	Versuchsgruppe									
	II/1	II/2	II/3	II/4	II/5	II/6	II/7	II/8	II/9	
Temperatur °C	3,0	3,0	3,0	10,0	10,0	16,0	16,0	16,0	16,0	
Salinität ‰	Fw	9,0	20,0	Fw	9,0	20,0	Fw	9,0	20,0	
Tierzahl n	8	9	9	9	9	9	9	8	9	
Fettgehalt mg/g FM	\bar{x}	23,0	26,8	24,6	21,1	23,3	25,0	23,7	18,5	23,7
	s	3,3	4,2	2,8	2,5	2,4	4,7	4,8	2,2	6,0
gesättigte Fettsäuren	\bar{x}	26,5	26,4	27,4	26,3	28,1	27,5	28,9	28,4	29,0
	s	1,9	2,4	1,2	0,9	1,5	1,8	2,4	2,3	2,4
Monoenes	\bar{x}	28,9	30,8	27,3	27,5	25,8	26,4	29,7	27,2	28,6
	s	2,6	3,3	1,8	3,0	2,7	2,7	2,4	2,3	2,4
ω -3-Fettsäuren	\bar{x}	33,0	32,3	34,1	33,8	34,2	34,7	30,7	32,8	31,2
	s	4,2	5,4	3,0	3,6	3,3	4,2	3,6	3,7	3,6
ω -6-Fettsäuren	\bar{x}	11,1	10,4	10,8	12,2	11,7	10,7	10,2	10,6	10,0
	s	1,9	1,2	1,5	0,6	1,2	0,9	1,5	1,1	1,5
C _{18:0} -Fettsäuren	\bar{x}	2,7	2,3	2,4	2,0	2,8	2,3	3,5	3,6	4,3
	s	1,1	0,9	0,6	0,6	0,9	0,6	0,6	0,3	0,9
C _{22:6ω-3} -Fettsäuren	\bar{x}	28,3	28,2	30,0	29,3	29,9	30,7	26,1	28,9	26,7
	s	3,7	5,1	3,0	3,0	3,0	3,3	3,3	2,7	3,3

Nach varianzanalytischer Auswertung beeinflusst die Temperatur alle untersuchten Fettsäuren oder -gruppen. Eine Hauptwirkung der Salinität liegt in keinem Falle vor, Wechselwirkungen von Salinität und Temperatur beeinflussen die Monoenes und C_{18:6}-Fettsäuren.

Statistisch signifikante Differenzen innerhalb der Versuchsgruppen (Mittelwertvergleiche, t-Test): p = 0,05 = +, p = 0,01 = ×.

Versuchsgruppen										
gesättigte Fettsäuren										
II/	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	+	+	
2	+	+	
3	.	+	.	+	
4	.	+	+	.	x	.	+	.	x	
5	+	x	.	.	.	.	.	.	.
6	.	x	.	.	.	.	.	.	.
7	.	.	+	
8	.	+	+	.	
9	+	
	Monoenes									
ω -3-Fettsäuren										
II/	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	
2	
3	+	.	.	
4	.	+	+	
5	.	+	+	.	.	
6	.	.	.	x	.	.	+	.	.	
7	.	.	.	x	+	.	.	.	.
8	
9	.	.	.	x	+	.	.	.	.
	ω -6-Fettsäuren									
C _{18:0} -Fettsäure										
II/	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	+	x
2	x	x
3	x	x
4	+	.	x	x
5	+
6	x	x
7	+	+	+
8	+	.	+
9	+	+	+
	C _{22:6ω-3} -Fettsäuren									

Mit steigender Temperatur nimmt der prozentuale Monoenesanteil in der Leber zu, im Mesenterialfett läßt sich keine Temperaturwirkung nachweisen. Die Salinität bewirkt in allen 3 Organen einen leichten Abfall des Monoenes-Anteiles, im weißen Muskel geschieht das aufgrund einer Wechselwirkung zwischen Temperatur und Salinität, in der Leber ist der Effekt nicht signifikant.

Tabelle 5. Beeinflussung der Fettsäurezusammensetzung im Mesenterialfett von Regenbogenforellen durch Temperatur und Salinität: angegeben ist jeweils der prozentuale Anteil der Fettsäure oder Fettsäuregruppen am Gesamtspektrum einer Versuchsgruppe, n = 7. Fw — Süßwasser

		Versuchsgruppe								
		II/1	II/2	II/3	II/4	II/5	II/6	II/7	II/8	II/9
Temperatur °C		3,0	3,0	3,0	10,0	10,0	10,0	16,0	16,0	16,0
Salinität ‰		Fw	9,0	20,0	Fw	9,0	20,0	Fw	9,0	20,0
gesättigte Fettsäuren	\bar{x}	21,7	22,1	22,5	23,9	23,1	22,8	22,9	23,7	24,5
	s	1,1	0,8	0,5	1,3	0,5	1,1	1,3	1,3	0,8
Monoenes	\bar{x}	51,3	51,3	49,2	50,7	51,2	50,2	51,3	51,0	50,0
	s	1,1	1,3	2,4	1,1	1,3	1,6	1,6	1,3	1,9
ω -3-Fettsäuren	\bar{x}	10,6	10,6	10,7	9,3	9,2	9,3	9,2	8,3	9,0
	s	0,8	1,6	1,6	1,1	0,8	0,8	0,8	1,0	1,1
ω -6-Fettsäuren	\bar{x}	15,6	15,4	16,2	15,5	15,7	16,4	15,8	15,6	15,9
	s	0,5	1,1	1,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
C _{18:0} -Fettsäuren	\bar{x}	1,4	1,6	1,6	1,5	1,4	1,3	1,4	2,0	2,1
	s	0,4	0,5	1,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,9	0,4
C _{22:6ω-3} -Fettsäuren	\bar{x}	7,9	8,2	8,2	6,9	7,6	6,7	6,8	5,8	6,0
	s	0,3	1,1	1,1	0,8	0,8	0,8	0,5	0,8	1,0

Nach varianzanalytischer Auswertung beeinflusst die Temperatur die gesättigten Fettsäuren, ω -3-, C_{18:0}- sowie C_{22:6 ω -3}-Fettsäuren. Die Salinität beeinflusst als Hauptwirkung die Monoenes und ω -6-Fettsäuren, Wechselwirkungen beider Faktoren treten für die C_{18:0}-, C_{22:6 ω -3}- und gesättigten Fettsäuren auf.

Statistisch signifikante Differenzen innerhalb der Versuchsgruppen (Mittelwertvergleiche, t-Test): p = 0,05 = +, p = 0,01 = ×.

Versuchsgruppen										
gesättigte Fettsäuren	ω -3-Fettsäuren	C _{18:0} -Fettsäuren								
II/ 1 2 3 4 5 6 7 8 9	II/ 1 2 3 4 5 6 7 8 9	II/ 1 2 3 4 5 6 7 8 9								
1 . . × × . . × ×	1 . . + × × × × ×	1 ×								
2 . . + + . . + ×	2 × +	2								
3 . + + ×	3 . . + + + + × +	3 ×								
4 + .	4	4 + + + +								
5 ×	5	5 + + + ×								
6 ×	6 + + +	6 × × + ×								
7 +	7	7 × × + ×								
8	8	8 × × × + + + + .								
9	9	9 × × ×								
Monoenes	ω -6-Fettsäuren	C _{22:6ω-3} -Fettsäuren								

Die ω -3-Fettsäuren sind in Leber und weißem Muskel etwa zu gleichen Anteilen vorhanden, im Mesenterialfett ist der Anteil erheblich geringer. Mit steigender Temperatur sinkt der Anteil in Leber und Mesenterium, im Muskel gibt es einen leichten Anstieg im mittleren Temperaturbereich. Die Salinität bedingt einen leichten Anstieg des Anteils der ω -3-Fettsäuren in der Leber, im Muskel und Mesenterialfett ist kein Einfluß nachweisbar (Abb. 2).

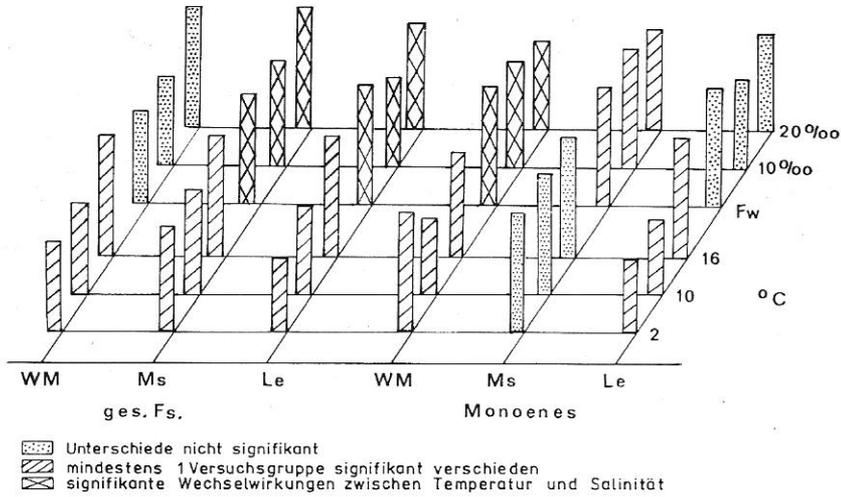


Abb. 1. Darstellung der Wirkungen von Salinität und Temperatur auf die relative Häufigkeit gesättigter Fettsäuren und Monoenes im weißen Muskel (WM), Mesenterialfett (Ms) und Leber (Le) von Regenbogenforellen.

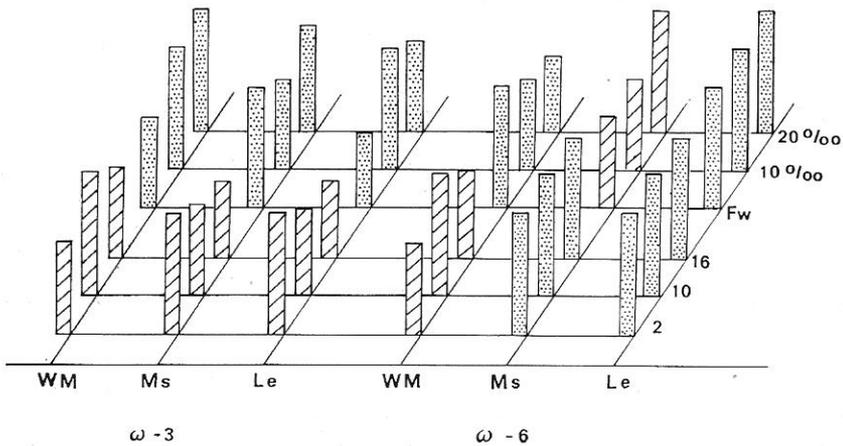


Abb. 2. Darstellung der Wirkungen von Salinität und Temperatur auf die relative Häufigkeit der ω -3- und ω -6-Fettsäuren im weißen Muskel (WM), Mesenterialfett (Ms) und Leber (Le) von Regenbogenforellen. Signaturen vgl. Abb. 1.

Die ω -6-Fettsäuren finden sich anteilmäßig im Mesenterialfett am häufigsten, etwas geringer liegen die Werte im weißen Muskel, am niedrigsten in der Leber. Die Temperatur beeinflusst nur im weißen Muskel die ω -6-Fettsäuren: im mittleren Bereich tritt der relativ größte Anteil auf. Leber und Mesenterialfett zeigen keine Temperaturabhängigkeiten im Hinblick auf die prozentualen Anteile dieser Fettsäuren. Die Salinität wirkt sich nur auf das Mesenterialfett aus, im 20‰-Bereich sind die Werte signifikant höher als bei 10‰ oder im Süßwasser (Abb. 2).

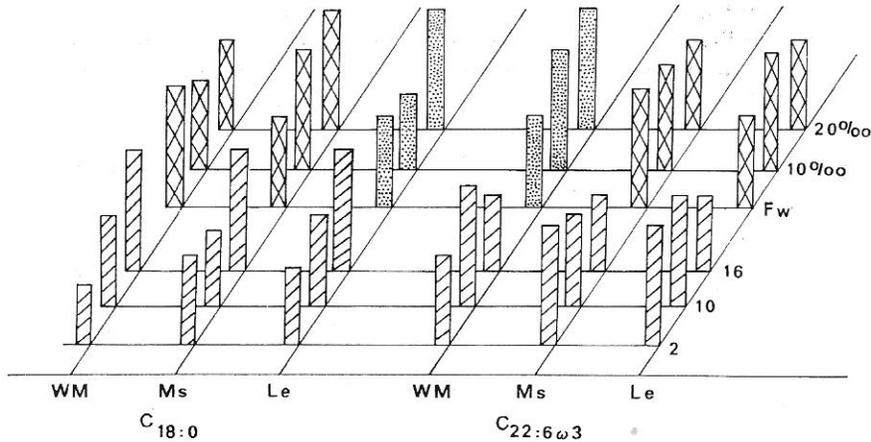


Abb. 3. Darstellung der Wirkungen von Salinität und Temperatur auf die relative Häufigkeit der $C_{18:0}$ - und $C_{22:6\omega-3}$ -Fettsäuren im weißen Muskel (WM), Mesenterialfett (Ms) und Leber (Le) von Regenbogenforellen. Signaturen vgl. Abb. 1.

$C_{18:0}$ -Stearinsäure ist anteilmäßig die kleinste Gruppe, besonders niedrig liegen die Werte im Mesenterialfett, relativ hoch in der Leber. Mit der Temperatur nimmt der Anteil in allen 3 Organen deutlich zu. Die Salinität wirkt derart, daß im weißen Muskel und der Leber bei 10‰ die niedrigsten Werte gefunden werden. Im Mesenterialfett treten hier die höchsten Werte auf. Die Veränderungen im Muskel und Mesenterialfett sind als Wechselwirkungen von Temperatur und Salinität signifikant (Abb. 3).

Die $C_{22:6\omega-3}$ -Fettsäuren haben ihren größten Anteil in der Leber, die niedrigsten Werte finden sich im Mesenterialfett. Bei den höheren Temperaturstufen sind im Mesenterialfett und der Leber die niedrigsten Werte zu finden, im mittleren Bereich sind sie im Muskel etwas erhöht. In Abhängigkeit von der Salinität treten im mittleren Bereich im Muskel und der Leber etwas höhere Werte auf (im Muskel nicht signifikant). Im Mesenterialfett nimmt mit steigender Salinität der $C_{22:6\omega-3}$ -Fettsäureanteil ab. Die Effekte sind in der Leber und im Mesenterium als Wechselwirkung signifikant (Abb. 3).

3.3. Beeinflussung der prozentualen Verteilung einzelner Fettsäuren oder Fettsäuregruppen im weißen Muskel in Abhängigkeit von der Futterqualität und Salinität (Tab. 6)

Die gesättigten Fettsäuren sind nach Verfütterung proteinreicher Diät etwas stärker angereichert als nach Gabe proteinärmerer (= fettreicherer) Diät. Die Salinität hat kaum einen Einfluß, bei 20‰ erscheinen etwas geringere Werte, die Differenzen sind aber nicht statistisch gesichert.

Die Monoenes werden durch den Proteingehalt direkt beeinflußt: Je höher dieser ist, umso höher sind die gefundenen Werte der prozentualen Monoenesanteile. Im Süß-

Tabelle 6. Beeinflussung der Fettsäurezusammensetzung im weißen Muskel von Regenbogenforellen durch die Futterqualität (Rohfett- bzw. Rohproteinkonzentration) und die Salinität: angegeben ist jeweils der prozentuale Anteil der Fettsäure oder Fettsäuregruppe am Gesamtspektrum einer Versuchsgruppe, n = 9

		Versuchsgruppe						
		III/1	III/2	III/3	III/4	III/5	III/6	III/7
gesättigte Fettsäuren	\bar{x}	28,0	28,3	26,9	28,4	26,8	27,7	28,5
	s	1,8	1,8	1,5	2,1	1,2	1,5	0,9
Monoenes	\bar{x}	34,7	32,3	34,4	37,5	35,3	35,5	40,1
	s	1,8	1,5	1,8	3,9	3,3	2,7	4,2
ω -3-Fettsäuren	\bar{x}	26,4	28,8	27,7	22,7	25,8	25,7	20,8
	s	1,8	2,1	1,5	1,8	4,5	3,0	2,7
ω -6-Fettsäuren	\bar{x}	9,7	9,6	9,6	10,5	10,1	9,8	10,0
	s	0,9	1,2	1,2	1,5	1,8	2,1	1,8
C _{18:0} -Fettsäuren	\bar{x}	4,7	5,3	4,5	4,6	4,9	5,4	4,8
	s	0,9	0,9	0,3	0,6	0,6	0,9	0,6
C _{22:6ω-3} -Fettsäuren	\bar{x}	16,2	16,6	16,0	14,8	14,7	15,6	14,1
	s	1,2	2,1	1,2	2,1	2,7	2,7	3,0
Temperatur °C		16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
Salinität ‰	Fw	8,0	8,0	8,0	8,0	20,0	20,0	20,0
Futterqualität (vgl. Tab. 2)		B	A	B	C	A	B	C

Nach varianzanalytischer Auswertung beeinflussen die Salinität und die Futterqualität die Monoenes und ω -3-Fettsäuren. Wechselwirkungen von Salinität und Futterqualität beeinflussen die C_{18:0}-Fettsäuren.

Statistisch signifikante Differenzen innerhalb der Versuchsgruppen (Mittelwertvergleiche, t-Test): p = 0,05 = +, p = 0,01 = x.

Versuchsgruppen

gesättigte Fettsäuren	ω -3-Fettsäuren	Fettgehalt Leber (Tab. 3)							
		III/ 1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	2	3	4	5	6	7	8
2	2	1	2	3	4	5	6	7	8
3	3	1	2	3	4	5	6	7	8
4	4	1	2	3	4	5	6	7	8
5	5	1	2	3	4	5	6	7	8
6	6	1	2	3	4	5	6	7	8
7	7	1	2	3	4	5	6	7	8
Monoenes	C _{18:0} -Fettsäuren	8	9						
									Fettgehalt Muskel (Tab. 4)

wasser und mittleren Salinitätsbereich sind die Werte gleich, bei 20‰ kommt es zum Anstieg.

Auf die ω -3-Fettsäuren wirken die Diäten mit niedriger und mittlerer Proteinkonzentration (Diät A und B) nahezu gleich, nach proteinreicher Diät (C) hingegen wird ein deutlich niedrigerer Wert beobachtet. Im gleichen Sinne wirkt die Salinität: Bei 20‰ finden sich etwa um 10% niedrigere Werte als im Süßwasser oder bei 10‰.

Die ω -6-Fettsäuren werden weder durch den Proteingehalt im Futter noch durch die Salinität beeinflusst. Die geringfügigen Differenzen von Mittelwerten erwiesen sich als zufällig.

Die Verteilung der $C_{18:0}$ -Fettsäuren ist durch eine deutliche Wechselwirkung von Futterqualität und Salinität geprägt: Bei 20‰ finden sich etwas höhere Anteile als im Brackwasser von 8‰, mit zunehmendem Proteingehalt sinkt der Anteil an $C_{18:0}$ -Fettsäuren etwas ab.

Die $C_{22:6\omega3}$ -Fettsäuren weisen den größten Anteil im mittleren Protein- und Salinitätsbereich auf, wobei allerdings die Werte bei proteinreicher Diät (C) und 20‰ deutlich niedriger sind als die Werte für die Diäten mit mittlerem oder niedrigem Proteingehalt (A und B) bzw. im Süßwasser sowie bei 9‰.

Insgesamt gesehen fällt auf, daß oft die bei den Diäten A und B gefundenen Werte sich weitgehend gleichen und deutlich von denen der Diät C verschieden sind. Gleiches gilt für Werte von Tieren, die in Süßwasser oder bei 9‰ gehalten wurden; Sie sind meist gleich und unterscheiden sich deutlich von denen, die nach Aufenthalt bei 20‰ gefunden werden.

4. Diskussion

Mit der Einführung gaschromatographischer Methoden zur Untersuchung der Fettsäurezusammensetzung der Lipide von Geweben und Organen der Fische durch ACKMAN und JANGAARD (1963) u. a. war die Möglichkeit gegeben, wesentlich mehr Informationen über die Zusammensetzung der Körperlipide und die sie bedingenden Einflußgrößen zu erhalten. Das gilt besonders für ω -3- und ω -6-Fettsäuren, die für tierische Organismen als essentiell anzusehen sind.

Wir ermittelten in unseren Untersuchungen die Fettsäurezusammensetzung der Gesamtlipide (Triglyceride und Phospholipide) der Leber, der weißen Muskulatur und des Eingeweidefetts. Zwischen diesen Organen bzw. Geweben bestehen erhebliche Differenzen. Das Mesenterialfett zeichnet sich durch einen hohen Gehalt einfach ungesättigter Fettsäuren, vorwiegend in ω -9- und ω -7-Stellung (ca. 50%) sowie ω -6-Fettsäuren und einen sehr geringen Gehalt an ω -3-Fettsäuren aus. Die höchsten Konzentrationen an essentiellen ω -3-Fettsäuren finden sich in der Leber (30–38%), was auf den hohen Gehalt an Phospholipiden in diesem Organ zurückzuführen ist. Zwischen Leber und weißer Muskulatur konnten keine größeren Unterschiede gefunden werden. Die Konzentration an ω -6-Fettsäuren lag in beiden Organen etwa bei 10% der Gesamtkonzentration an Fettsäuren. Dies steht in Einklang mit Untersuchungen an Regenbogenforellen von JEZIERSKA et al. (1982). Die Konzentration einfach ungesättigter Fett-

säuren im Muskel erwies sich in unseren Untersuchungen — im Gegensatz zu den Befunden von JEZERSKA et al. (1982) — erhöht gegenüber der Leber.

Neben diesen grundsätzlichen Unterschieden zwischen den Organen treten weitere Differenzen in der Fettsäure-Zusammensetzung auf, die offensichtlich durch Umwelteinflüsse ausgelöst werden. Von besonderer Bedeutung erscheint die Lipidmenge, die mit dem Futter gegeben wird, wobei die Qualität des Fettes unverändert bleibt. Fettmengen über 12% im Futter führten in unseren Versuchen zu einer deutlichen Steigerung der ω -3-Fettsäure-Konzentration im Muskel. Bei Fettkonzentrationen um 6% kam es im Muskel zur Anhäufung einfach ungesättigter Fettsäuren, offensichtlich, weil unter diesen Bedingungen die Lipogenese aus Protein aktiviert wird, was aber nicht zur Bildung essentieller ω -3-Fettsäuren führen kann. Ähnliche Beobachtungen machten FARKAS et al. (1978) an Karpfen, hier stellten jedoch Kohlenhydrate die Quelle für die Lipidsynthese dar, es wurde vor allem Ölsäure in der Leber gebildet.

Die Temperatur beeinflusst in erheblichem Maße die Fettsäurezusammensetzung. Das gilt offensichtlich für Wirbellose und Wirbeltiere gleichermaßen. So werden bei Crustaceen bei tiefen Temperaturen mehrfach ungesättigte Fettsäuren bevorzugt in Lipide eingebaut (FARKAS und HERODESK 1964), und beim Goldfisch kommt es zum verstärkten Einbau von ω -6-Fettsäure in Form der Arachidonsäure ($C_{26:4\omega-6}$) in Phospholipide (WODTKE 1978). SELNER und HAZEL (1982) fanden bei Regenbogenforellen bei Anpassung an tiefe Temperaturen einen verstärkten Einbau von ω -3-Fettsäure in Leber- und Kiemenlipide, die ω -6-Fettsäuren wurden davon nicht betroffen. Unsere eigenen Untersuchungen erstreckten sich auf Temperaturbereiche bis zu 2 °C und ergaben, daß die Fettsäurezusammensetzung bei diesen extremen Temperaturen jener gleicht, die wir selbst und auch HAZEL (1979) bei 5—6 °C fanden, nämlich einen erheblichen Anstieg von Docosahexaensäure ($C_{22:6\omega-3}$) in der Leber um 25%, im Mesenterialfett um 8% und im weißen Muskel um 15%. Man darf wohl annehmen, daß der vermehrte Einbau ungesättigter Fettsäuren bei tiefen Temperaturen mit dazu beiträgt, die Fluidität der Membranen aufrecht zu erhalten. An Lymphozyten von Regenbogenforellen konnten ABRUZZINI et al. (1982) dies nachweisen. Neben Phospholipiden werden aber durch die Temperatur auch Triglyceride bzw. deren Synthese qualitativ beeinflusst (HAZEL 1979). So untersuchten TORRENTO und BRENNER (1976) die Fähigkeit von Lebermikrosomen eines Süßwasserfisches zur Bildung von Fettsäuren verschiedener Längen und Sättigungsgrade. Bei Temperaturen um 15 °C wurden mehr ungesättigte und langkettige, bei Temperaturen um 30 °C mehr gesättigte und kurzkettige Fettsäuren gebildet. Das entspricht unseren Beobachtungen an der Leber, wonach Tiere bei Temperaturen oberhalb 10 °C vermehrt gesättigte Fettsäuren und Monoenes zeigten. (Eine Ausnahme bildet lediglich die Stearinsäure, die oberhalb von 10 °C nicht weiter ansteigt, was auf unterschiedliche Wege des Fettsäurestoffwechsels hindeutet.

Enzyme mit Lipidkomponenten werden von diesen temperaturbedingten Einflüssen auf die Fettsäurebildung offensichtlich direkt betroffen. So aktivieren Phospholipide z. B. die Na-K-ATPase der Kiemen (KIMELBERG und PAPAHAJOPOLUS 1972), Mangel an Phospholipiden könnte eine der Ursachen dafür sein, daß die Na-K-ATPase in den Kiemen von Regenbogenforellen bei Temperaturen um 2 °C stark vermindert ist (VÖKLER

1983). Damit würde übereinstimmen, daß in der Fettsäurezusammensetzung von Kiemen nur geringe, temperaturbedingte Veränderungen gefunden wurden (SELLNER und HAZEL 1982).

Ein besonderes Problem bilden die unterschiedlichen Reaktionen einzelner Organe auf Temperaturänderungen. Im Mesenterialfett kam es kaum, in der Muskulatur zu geringfügigen Veränderungen. HAZEL und NEAS (1982) untersuchten diese Verhältnisse mit Hilfe einer Bestimmung von Umsatzraten genauer. Danach unterscheiden sich in Leber, Kieme und Muskel die temperaturabhängigen Änderungen der Umsatzraten für ^{14}C -markierte Fettsäuren erheblich. Darüber hinaus läuft auch die Synthese von Triglyceriden nicht synchron ab, weil sich der Glycerinumsatz anders verhält als der Fettsäureumsatz. In Kiemen z. B. wurde eine Halbwertszeit für Glycerin von 15,1 d, von Fettsäuren dagegen von 9,1 d bei 5 °C beobachtet, bei 20 °C waren beide Umsatzraten gleich. In der Leber verhielten sich beide Komponenten gerade umgekehrt: der Glycerinumsatz hatte bei 5 °C eine Halbwertszeit von 4,1, jener der Fettsäuren von 6,8 d. Welche Bedeutung diese Unterschiede für den Prozeß der Temperaturadaptation haben, ist schwer zu sagen.

Untersuchungen zur Beeinflussung der Fettsäurezusammensetzung von Geweben oder Organen der Regenbogenforelle durch unterschiedliche Salinitäten liegen bisher nicht vor. Verschiedene Autoren (zuerst LEWIS 1962) stellten bei Vergleichen limnischer und mariner Fischarten beträchtliche Unterschiede in der Fettsäurezusammensetzung fest. Marine Fischarten enthielten wesentlich mehr mehrfach ungesättigte Fettsäuren, besonders Fettsäuren des ω -3-Typs.

Es ist erwiesen, daß diese Unterschiede auf der unterschiedlichen Fettsäurezusammensetzung der zur Verfügung stehenden Nahrung beruhen. Marines Zoo- und Phytoplankton zeichnet sich in der Regel durch einen höheren Anteil mehrfach ungesättigter Fettsäuren als entsprechendes limnisches Plankton aus (YAMADA 1972). Unter dem gleichen Aspekt muß man die Unterschiede in der Fettsäurezusammensetzung bei anadromen Wanderfischen sehen, wie sie OTA und TAKAGI (1977) bei *Onchorhynchus masu* im Süß- bzw. Meerwasser fanden. Obwohl offensichtlich die unterschiedlichen Nährstoffquellen Ursache für unterschiedliche Fettsäurezusammensetzungen von marinen oder Süßwasserfischen sind, verbirgt sich hinter diesen Verschiedenheiten doch ein gewichtiger physiologischer Unterschied. Meeresfische benötigen langkettige Fettsäuren des ω -3-Typs zur Verhinderung von Mangelsymptomen, im Süßwasser lebende Forellen kommen mit kurzkettigen aus (OWEN et al. 1975; FUJII und YONE 1976; YONE und FUJII 1975 a, b). YONE (1978) ermittelte für *Chrysophorus major* (marin) einen Bedarf von mindestens 0,5% der Diät an langkettigen C_{20} - und C_{22} -Fettsäuren. FUJII et al. (1976) vermutet, daß Meeresfische eine geringere Kapazität zur Synthese von langkettiger Docosahexensäure aus Linolensäure haben als im Süßwasser lebende. Die Untersuchungen von YAMADA et al. (1980) und OWEN et al. (1975) mit Hilfe radioaktiv markierter ungesättigter Fettsäuren an Regenbogenforellen bestätigen diese Vermutung.

Eine Wirkung der Salinität auf die Fettsäurezusammensetzung im Zusammenhang mit adaptiven Prozessen wurde sowohl von Wirbellosen (MORRIS et al. 1982, *Gammarus duebeni*) als auch an Knochenfischen (DAIKOKU et al. 1982, *Poecilia reticulata*) bekannt.

Bei *Gammarus* wurde nach 46- bis 66tägiger Anpassung an Meerwasser ein Anstieg der Monoenes (Ölsäure) und mehrfach ungesättigter Fettsäuren (vor allem Eicosaheptaensäure) in den Membranen der Kiemenblättchen beobachtet. Parallel dazu kam es zur Verringerung der gesättigten Fettsäuren. MORRIS et al. (1982) vermuten in diesen Veränderungen die Ursache für einen von ihnen beobachteten verminderten Wasserfluss durch die Kiemen.

Bei *Poecilia* kommt es bei stufenweiser Anpassung an höhere Salzgehalte in den Kiemen, dem Verdauungstrakt und der Niere zu einem Konzentrationsanstieg von ω -3-Fettsäuren. In Leber und Muskel fehlten diese durch die Salinität bedingten Veränderungen. Die 3 genannten Organe zeichnen sich auch durch einen erhöhten Neutralfettgehalt aus, während die übrigen Organe im Meerwasser fettärmer sind. Im Gegensatz dazu nehmen im Meerwasser in allen Organen die Phospholipide, vor allem mehrfach ungesättigte Fettsäuren, zu, in Leber und Muskel z. B. vor allem ω -6-Fettsäuren.

Darüber hinaus fanden DAIKOKU et al. (1982) Unterschiede in den Phospholipiden nach Meerwasseradaptation. In der Niere nimmt die Konzentration an Phosphatidylcholin ab, was von den Autoren in Zusammenhang mit einer verminderten Ionenreabsorption Meerwasser-adaptierter Fische gesehen wird.

Nach unseren Untersuchungen ist die Wirkung der Salinität auf die Fettsäureanteile in den einzelnen Organen immer nur als Wechselwirkung mit der Temperatur zu sehen. Das äußert sich z. B. darin, daß im isosmotischen Bereich die Werte höher oder niedriger liegen als im hypo- oder hypertonen Milieu, je nachdem, an welchen Temperaturbereich die Tiere angepaßt wurden. So zeigen z. B. Monoenes im Muskel bei 3 °C im isotonischen Milieu hohe Werte, bei 10 und 18 °C hingegen niedrige Werte gegenüber Tieren aus Süßwasser oder 20‰ Brackwasser. Lediglich im Mesenterialfett konnten wir eine Beeinflussung der Monoenes und ω -6-Fettsäuren im Sinne einer Hauptwirkung feststellen; sie äußert sich in einer Erniedrigung der Monoenes mit steigender Salinität. Die ω -6-Fettsäuren nehmen mit steigender Salinität etwas zu. Im Muskel ließen sich Wirkungen der Salinität und Futterqualität auf die Fettsäurezusammensetzung nachweisen. So nahmen die ω -3-Fettsäuren in dem Umfange ab, wie die Salinität und der Proteinanteil im Futter anstiegen. Die Monoenes verhielten sich gerade umgekehrt. Welche Bedeutung diese mit der Brackwasseranpassung einhergehenden Veränderungen in der Fettsäurezusammensetzung haben, kann auf Grund der vorliegenden Ergebnisse nicht gesagt werden. Bemerkenswert ist jedoch der Abfall der ω -3-Fettsäuren im Muskel nach Fütterung fettarmer Diät im Brackwasser von 20‰.

Dies deutet darauf hin, daß wohl der Bedarf an essentiellen Fettsäuren im Brackwasser größer ist. Möglicherweise erklärt sich das oft beobachtete geringere Wachstum oder die höhere Sterblichkeit im Brackwasser (LALL und BISHOP 1975, eigene Beobachtungen) aus einem Mangel an ω -3-Fettsäuren.

In diesem Zusammenhang muß auch berücksichtigt werden, daß die verschiedenen Fettsäuren selektiv verwertet werden. So zeigte MURATA (1979), daß in Leber und roter Muskulatur der Regenbogenforelle die β -Oxidation von Ölsäure gegenüber Docosahexaensäure bevorzugt ist. WALTON und COWEY (1982) berechneten den Umsatz von Docosahexaensäure und fanden, daß er mit 100 h Halbwertszeit etwa doppelt so lang

ist wie für Eicosapentaensäure. Kürzere Fettsäuren werden noch schneller abgebaut. Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse darf man schlußfolgern, daß der Lipidstoffwechsel durch die von uns geprüften Umweltfaktoren wohl in stärkerem Umfange beeinflußt wird, als es die manchmal nur geringfügigen Konzentrationsänderungen erkennen lassen, die sich aus der gaschromatographischen Analyse ergaben.

5. Zusammenfassung

Es wurden 26 Fettsäuren festgestellt, wobei Palmitin-, Palmitolein-, Stearin-, Öl-, Linol- und Docosahexaensäure ungefähr 80—90 % des gesamten Fettsäuregemisches ausmachen. In der Leber ist der größte Gehalt an essentiellen ω -3-Fettsäuren vorhanden (30—38 %), im weißen Muskel beträgt der Anteil 25—34 %, und im Mesenterialfett sind es nur 10 %. Der Anteil der einfach ungesättigten Fettsäuren ist im Mesenterium mit 50 % überdurchschnittlich hoch.

Bei tiefen Temperaturen erhöht sich die Konzentration der ω -3-Fettsäuren in der Leber um 25 %, im Muskel um 15 % und im Mesenterialfett um 8 %. Während es in Muskel und Mesenterium nur zur Reduzierung des Anteils der gesättigten Fettsäuren kommt, verringert sich in der Leber auch der Anteil der einfach ungesättigten Fettsäuren.

In der Leber und dem Mesenterialfett wurden geringe, aber signifikante Einflüsse der Salinität nachgewiesen. Im weißen Muskel konnten nur bei 16 °C eindeutige Wirkungen des Salzgehaltes gefunden werden. Bei hohem Salzgehalt (20‰) verringert sich der Anteil der ω -3-Fettsäuren signifikant, während der Anteil der einfach ungesättigten Fettsäuren sich erhöht. Bei Verfütterung einer fettarmen/proteinreichen Diät (6 % Fett und 52 % Protein) kommt es zu den gleichen Erscheinungen. Da beide Faktoren eine additive Wirkung haben, verringert sich der Anteil der ω -3-Fettsäuren durch fettarme/proteinreiche Diät bei 20‰ um 20—30 % gegenüber den entgegengesetzten Bedingungen

Literatur

- ABRUZZINI, A. F., INGRAM, L. O., and CLEM, L. W.: Temperature-mediated processes in teleost immunity: Homeoviscous adaption in teleost lymphocytes. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* **169** (1982), 12—18.
- ACKMAN, R. G., and JANGAARD, P. M.: Identification of the major polyunsaturated C_{16} acids of marine oils by GLC separation factors on normal and organosilicone polyesters. *J. Am. Oil Chemists Soc.* **40** (1963), 744—747.
- BALDWIN, J., and REED, K. C.: Cytoplasmatic sources of NADPH for fat synthesis in rainbow trout liver — Effect of thermal acclimation on enzyme activities. *Comp. Biochem. Physiol.* **54B** (1976), 527—529.
- CASTELL, J. D., SINNHUBER, R. O., LEE, D. J., and WALES, J. H.: Essential fatty acids in the diet of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Physiological symptoms of EFA deficiency. *J. Nutr.* **102** (1972), 87—92.
- CAVALLI-SFORZA, L.: Grundbegriffe der Biometrie. 2. Aufl. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1972.
- CLAUS, G., und EBNER, H.: Grundlagen der Statistik für Psychologen, Pädagogen und Soziologen. Verlag Volk und Wissen, Berlin 1967.
- DAIKOKU, T., YANO, I., and MASUI, M.: Lipid and fatty acid compositions and their changes in the different organs and tissues of guppy, *Poecilia reticulata*, on sea water adaptation. *Comp. Biochem. Physiol.* **73A** (1982), 167—174.
- FARKAS, T., and HERODESK, S.: The effect of environmental temperature on the fatty acid composition of crustacean plankton. *J. Lipid Res.* **5** (1964), 369—373.
- CSENGERI, I., MAJOROS, F., and OLAH, J.: Metabolism of fatty acids in fish. 2. Biosynthesis of fatty acids in relation to diet in the carp *Cyprinus carpio* Linneus 1758. *Aquaculture* **14** (1978), 57—65.

- FOLCH, J., LEES, M., and SLOANE-STANLEY, G. H.: A simple method for the isolation of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* **226** (1957), 497—509.
- FUJII, M., and YONE, Y.: Studies on nutrition of red sea bream. 12. Effect of dietary linolenic and ω -3 polyunsaturated fatty acids on growth and feed efficiency. *Bull. Jap. Soc. Scient. Fish.* **42** (1976), 583—588.
- NAKAYAMA, H., and YONE, Y.: Effect of ω -3 fatty acids on growth, feed efficiency and fatty acid composition of red sea bream (*Chrysophorus major*). *Rept. Fish. Res. Lab. Kyushu Univ.* (1976), 68—86.
- HALVER, J. E.: Nutrition of salmonid fishes. 3. Water soluble vitamin requirements of chinook salmon. *J. Nutrit.* **62** (1957), 225—243.
- HAZEL, J. R.: The influence of temperature adaptation on the composition of the neutral lipid fraction of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) liver. *J. Exp. Zoology* **207** (1979), 33—42.
- and NEAS, N. P.: Turnover of the fatty acid and glycerol moieties of microsomal membrane lipids from liver, gill and muscle tissue of thermally acclimated rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *J. Comp. Physiol.* **149** (1982), 11—18.
- HUŠEK, P.: Methode zur direkten Methylierung dünnschichtchromatographisch aufgetragener Lipide ohne deren Elution aus Kieselgel. *Zeit. klin. Chem. klin. Biochem.* **7** (1969), 627—630.
- JEZIERSKA, B., HAZEL, J. R., and GERKING, S. D.: Lipid metabolism during starvation in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* RICHARDSON, with attention to fatty acids. *J. Fish. Biol.* **21** (1982), 681 to 692.
- KIMELBERG, H. K., and PAPAHAJOPOLUS, D.: Phospholipid requirement for (Na/K)-ATPase activity: Head group specificity and fatty acid fluidity. *Acta Biochem. Biophys.* **282** (1972), 277—292.
- LALL, S. P., and BISHOP, F. J.: Studies on the nutrient requirements of rainbow trout (*S. gairdneri*), grown in seawater and freshwater. *Inter. Council Explor. of the Sea, Montreal, 1975. Fish Improv. Comm. C M 1975/E: 19.*
- LEE, D. J., and PUTNAM, G. B.: The response of rainbow trout to varying protein/energy ratios in a test diet. *J. Nutrit.* **103** (1973), 916—922.
- LEWIS, R. W.: Temperature and pressure effects on the fatty acids of some marine ectotherms. *Comp. Biochem. Physiol.* **6** (1962), 75—89.
- MEIER, A. H., and BURNS, J. T.: Circadian hormone rhythm in lipid regulation. *Am. Zool.* **16** (1976), 649—659.
- MORRIS, R. J., LOOKWOOD, A. P., and DAWSON, M. E.: An effect of acclimation salinity on the fatty acid composition of the gill phospholipids and water flux of the amphipod crustacean *Gammarus duebeni*. *Comp. Biochem. Physiol.* **72A** (1982), 497—503.
- MURATA, H.: Studies on the metabolism of fatty acids in fish. 4. β -Oxidation of 22: 6 acid in fish liver and dark muscle mitochondria. *Bull. Jap. Soc. Scient. Fish.* **45** (1979), 379—383.
- OTA, T., and TAKAGI, T.: A comparative study on the lipid class composition and fatty acid composition of sweet smelt *Plecoglossus altivelis* from marine and fresh-water habitat. *Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ.* **28** (1977), 47—56.
- OWEN, J. M., ADRON, J. W., MIDDLETON, C., and COWEY, C. B.: Elongation and desaturation of dietary fatty acids in turbot, *Scophthalmus maximus* L., and rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Lipids* **10** (1975), 526—531.
- RASCH, D.: Probleme der Varianzanalyse bei ungleicher Klassenbesetzung. *Biomet. Zeit.* **2** (1960), 194—203.
- RŽAVSKAJA, J. M., DUBROWSKAJA, T. A., and MAKAROVSKAJA, A. M.: Polare Phasen in der Gaschromatographie von Fettsäuren der Lipide mariner Organismen (russ.). WNIRO (Wiss. Allunions-Inst. der marinen Fischwirt. und Ozeanographie), Moskau 1972.
- SEIFERT, R., SCHLAGHECKE, R., SCHULZ, R., und BLÜM, V.: Stoffwechselphysiologische Untersuchungen an unter teichwirtschaftlichen Bedingungen gehaltenen präpubertären Regenbogenforellen, *Salmo gairdneri* RICHARDSON. *Zool. Jb. 87 Physiol.* (1983), 491—510.

- SELLNER, P. A., and HAZEL, J. R.: Time course of changes in fatty acid composition of gills and liver from rainbow trout (*Salmo gairdneri*) during thermal acclimation. *J. Exp. Zoology* **221** (1982), 159—168.
- SINNHUBER, R. O., CASTELL, J. D., and LEE, D. J.: Essential fatty acid requirement of the rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Feder. Proc.* **31** (1972), 1436—1441.
- SIRE, M.-F., LUTTON, C., and VERNIER, J.-M.: New views on intestinal absorption of lipids in teleostean fishes: an ultrastructural and biochemical study in the rainbow trout. *J. Lipid Res.* **22** (1981), 81—94.
- SPANNHOF, J., WATERSTRAAT, A., and KUBIČIEL, A.: Untersuchungen zur Beeinflussung und Rhythmik freier Fettsäuren (FFA) im Blut von Regenbogenforellen (*Salmo gairdneri* RICH.). *Fisch.-Forsch.* **21** (1983), 62—67.
- STEFFENS, W., und ALBRECHT, M.-L.: Erniedrigung des Anteils von tierischem Protein im Futter für Regenbogenforellen (*Salmo gairdneri*). 1. Mitteilung: Ergänzung durch Methionin. *Archiv Tierernährung* **27** (1977), 161—169.
- TORRENGO, DE, M. P., and BRENNER, R. R.: Influence of environmental temperature on the fatty acid desaturation and elongation activity of fish (*Pimelodus maculatus*) liver microsoms. *Acta Biochem. Biophys.* **424** (1976), 36—44.
- VÖKLER, T.: Experimentelle Untersuchungen zum Einfluß von Salinität, Temperatur und Ernährung auf die Kiemen-Na/K-ATPase der Regenbogenforelle (*Salmo gairdneri* RICHARDSON). Diplomarbeit an der Sektion Biologie der WPU Rostock, 1983.
- WALTON, M. J., and COWEY, C. B.: Aspects of intermediary metabolism in salmonid fish. *Comp. Biochem. Physiol.* **73B** (1982), 59—79.
- WATANABE, T.: Lipidnutrition in fish. *Comp. Biochem. Physiol.* **73B** (1982), 3—15.
- OGINO, C., KOSHISI, Y., and MATSUNAGA, T.: Requirement of rainbow trout for essential fatty acids. *Bull. Jap. Soc. Scient. Fish.* **40** (1974), 493—499.
- WODTKE, E.: Lipidadaptation in liver mitochondrial membranes of carp acclimated to different environmental temperatures. — Phospholipid composition, fatty acid pattern and cholesterol content. *Acta Biochem. Biophys.* **529** (1978), 280—291.
- YAMADA, K., KOBAYASHI, K., and YONE, Y.: Conversion of linolenic acid to ω 3-highly unsaturated fatty acids in marine fishes and rainbow trout. *Bull. Jap. Soc. Scient. Fish.* **46** (1980), 1231—1233.
- YAMADA, M.: New observations on the lipids of aquatic origin. *Memoirs of the Fac. Fish., Hokkaido Univ.* **19** (1972), 35—135.
- YONE, Y.: Essential fatty acids on liquid requirements of marine fish. In: *Dietary Lipids in Aquaculture*. Ed. Jap. Soc. Scient. Fish. Koseisha-Koseikaku, Tokyo 1978, 43—59.
- and FUJII, M.: Studies on nutrition of red sea bream. 11. Effect of ω 3 fatty acid supplement in a corn oil diet on growth rate and feed efficiency. *Bull. Jap. Soc. Scient. Fish.* **41** (1975a), 73—77.
- — Studies on nutrition of red sea bream. 12. Effect of ω -3 fatty acid supplement in a corn oil diet on fatty acid composition of fish. *Bull. Jap. Soc. Scient. Fish.* **41** (1975b), 79—86.

Manuskripteingang: 18. Oktober 1985

Anschrift der Verfasser: DR. ARNO WATERSTRAAT, Institut für Landschaftsforschung und Naturschutz, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Biologische Station Serrahn, DDR - 2081 Serrahn; Prof. DR. LUDWIG SPANNHOF, Sektion Biologie der Wilhelm-Pieck-Universität, Wissenschaftsbereich Tierphysiologie, DDR - 2500 Rostock 1, Universitätsplatz 2.

Buchbesprechung

BOUVEROT, P.: *Adaptation to Altitude-Hypoxia in Vertebrates*. (Zoophysiology, Vol. 16). XII, 176 pages, 43 figs. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo 1985. Price: cloth DM 94.

Mit dem vorliegenden Band, es ist der sechzehnte, wird die wertvolle Springer-Serie „Zoophysiology“ fortgeführt. Prof. PIERRE BOUVEROT (Strasbourg) liefert einen ausgezeichneten Überblick über die physiologischen Anpassungen an das Leben in größeren Höhen und an die damit verbundene Hypoxie bei Wirbeltieren. In den ersten beiden Kapiteln beschäftigt sich der Autor einleitend mit einigen grundlegenden Aspekten des Themas. In den sich anschließenden Abschnitten werden die Adaptationsvorgänge selbst behandelt: die Adaptation der Ventilation, die des Kreislaufs, die Diffusionsprozesse und schließlich — zusammen mit C. LERAY — die biochemischen Veränderungen. Jedes Kapitel ist in sich abgeschlossen und verständlich. Mit didaktischem Geschick unter Heranziehung informativer Schemata, Diagramme und Tabellen versteht es der Autor ausgezeichnet, die Zusammenhänge in ihrer Komplexität übersichtlich darzustellen. Er scheut sich auch nicht, auf noch bestehende Widersprüche, Unklarheiten und Lücken in unserem gegenwärtigen Wissen hinzuweisen. Ein sehr umfangreiches Literaturverzeichnis, das Titel bis 1983 umfaßt, rundet den ansprechenden, informativen und aktuellen Band ab. Insgesamt eine sehr nützliche und wertvolle Neuerscheinung, die jedem an der Thematik interessierten Biologen, Physiologen, Mediziner und Biochemiker wärmstens empfohlen werden kann.

H. PENZLIN (Jena)