

Manfred Klinkhardt

Fische

*Anatomie
Physiologie
Lebensweise*



Schweizerbart

Manfred Klinkhardt

Fische

Anatomie

Physiologie

Lebensweise

Manfred Klinkhardt

Fische

*Anatomie
Physiologie
Lebensweise*

Mit 364 Abbildungen und
51 Infoboxen „Wissen kompakt“



Schweizerbart • Stuttgart 2023

Klinkhardt, M.: Fische – Anatomie Physiologie Lebensweise

Anschrift des Autors:
Dr. Manfred Klinkhardt
Franz-Stock-Straße 23
33129 Delbrück
manfred.klinkhardt@web.de

Abb. Umschlagvorderseite: Typische innere und äußere Merkmale eines Knochenfisches (Grafik: M. Klinkhardt); Gelbschwanz-Meerbarben (*Mulloidichthys vanicolensis*) (Foto :M. Klinkhardt)

Abb. Umschlagrückseite von links nach rechts: 1. Heringsschwarm, 2. Filet vom Barramundi (*Lates calcarifer*), 3. Jonahs Eisfisch (*Neopagetopsis ionah*)-Nest im Weddellmeer, 4. Zwergbuntbarsch-Pärchen (Fotos 1, 2, 4: M. Klinkhardt, Foto 3: Alfred Wegener Institute / PS124 OFOBS)

Gerne nehmen wir Hinweise zum Inhalt und Bemerkungen zu diesem Buch entgegen:
editors@schweizerbart.de

ISBN 978-3-510-65543-4
ISBN ebook (epdf) 978-3-510-65544-1
Informationen zu diesem Titel: www.schweizerbart.de/9783510655434

© 2023 E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Germany

Das Werk, einschließlich aller Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Verlag: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
Johannesstraße 3A, 70176 Stuttgart, Germany
mail@schweizerbart.de, www.schweizerbart.de

♻ Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

Printed in Germany by Gulde Druck GmbH & Co. KG, Tübingen

Vorwort des Autors

Das Schicksal eines Vorwortes ist es gewöhnlich, nicht gelesen zu werden. Ich möchte dem Buch dennoch einige Bemerkungen voranstellen, die mir notwendig und geboten erscheinen. Das Wichtigste zuerst: dieses Buch erhebt nicht den Anspruch, ein Lehrbuch oder ein streng wissenschaftliches Werk zu sein. Es richtet sich vielmehr an alle Leser, die sich im weitesten Sinne für Fische interessieren und mehr über das Leben dieser wunderbaren Tiere erfahren wollen. Dazu dürften nach meiner Meinung insbesondere Angler und Aquarianer, Fischer und Teichwirte, Biologielehrer und Biologiestudenten, Naturschützer, die sich in besonderer Weise für Fische sowie den Schutz und Erhalt von Gewässern engagieren, Vertreter von Wasserbehörden oder auch Tierärzte mit der Spezialisierungsrichtung Fisch gehören.

Das vorliegende Buch soll auf möglichst einfache und verständliche Weise erklären, wie es Fischen gelingt, im Wasser zu leben, mit den Herausforderungen in diesem Lebensraum fertig zu werden, welche Fähigkeiten sie mit anderen Tieren teilen und welche erstaunlichen Besonderheiten sie von diesen unterscheiden. In Anbetracht der Vielfalt und Komplexität der dargestellten Themen, deren Verständnis mitunter detailliertere Erklärungen erfordert, waren manche Fachbegriffe nicht zu vermeiden. Ich habe mich aber bemüht, möglichst vieles so zu erklären, dass die Zusammenhänge auch für interessierte Laien nachvollziehbar sind.

Die Vielzahl an Informationen zu einzelnen Aspekten des Fischlebens zwingt jeden Autor zu Beschränkungen. Die Auswahl der Beispiele umfasst sowohl typische als auch originelle und ungewöhnliche Strategien, die dem Leser deutlich machen, mit welchem Erfindungsreichtum das Leben der Fische in den verschiedenen Gewässerbereichen einhergeht.

Um den Lesern trotz der manchmal vielleicht etwas komplizierten Zusammenhänge das flüssige Lesen zu erleichtern, habe ich im Text weitgehend auf Quellenangaben verzichtet (ein Verzeichnis der wichtigsten verwendeten Literatur befindet sich am Ende des Buches). Das bedeutet aber nicht, dass alle Informationen, Thesen und Beschreibungen im Text als meine eigene Leistung zu interpretieren sind. Ich stütze mich in diesem Buch fast durchweg auf Hypothesen und Publikationen früherer Wissenschaftler und zahlloser Kollegen, die mit ihren Arbeiten unser Wissen zu Fischen bereichert haben. Manche ihrer Erkenntnisse sind Jahrzehnte oder Jahrhunderte alt und gehören heute fast zum Allgemeinwissen. In solchen Fällen sind Quellenangaben ohnehin

schwierig, weil oft mehrere Personen an einem Thema gearbeitet haben und nicht immer klar erkennbar ist, wem genau wir eine richtungweisende Erkenntnis verdanken. Andere Ergebnisse sind vielleicht bedeutsam, aber erst sehr wenigen bekannt oder in der Fachwelt noch umstritten. Meine Entscheidung, auf detaillierte Angaben zu den Quellen zu verzichten, bedeutet aber auch, dass ich allein für Unkorrektheiten oder Fehler verantwortlich bin, die mir bei der Wiedergabe und Verkürzung der Aussagen anderer Autoren - trotz aller Sorgfalt beim Schreiben - möglicherweise unterlaufen sind. Dafür bitte ich bereits vorab um Entschuldigung und bin für diesbezügliche Hinweise dankbar.

Abschließend ist es mir ein aufrichtiges Bedürfnis, einigen Persönlichkeiten zu danken, die mich zum Schreiben des Buches ermuntert und durch ihre Geduld und Nachsicht unterstützt haben. Besonderer Dank gebührt dabei meiner Gattin Ilka, die während der langen Zeit des Schreibens auf viele gemeinsame Stunden verzichten musste und mich geduldig bei der Korrektur des Textes unterstützt hat. Des Weiteren möchte ich den vielen mir bekannten und unbekanntem Bildautoren danken, die mit ihren oft einzigartigen fotografischen Werken das Buch sehenswert machen und maßgeblich zum tieferen Verständnis der fachlichen Inhalte beitragen. Last but not least möchte ich auch dem Verlagshaus Schweizerbart ganz herzlich danken, das dieses Buch in sein naturwissenschaftliches Programm aufgenommen hat und herausgibt. In schwierigen Zeiten, da man weiten Teilen der potenziellen Leserschaft eine schwindende Bereitschaft zur Beschäftigung mit etwas anspruchsvolleren Sachverhalten und sinkende Aufmerksamkeitspannen unterstellt, weiß ich es besonders zu schätzen, dass der Verlag das Risiko dieser Veröffentlichung nicht scheut. Hinter diesem Engagement steht vor allem der Verleger Dr. Andreas Nägele, der von Anfang an großes Interesse zeigte und die Realisierung des Projektes mit seinen Ideen vorantrieb. Ein Verdienst des Verlages ist auch die optisch sehr ansprechende Gestaltung des Inhalts, die in den Händen von Frau Yvonne Zeusche lag. Ihrem Geschick, Können und Einfühlungsvermögen ist es zu verdanken, dass das Werk nunmehr auch einen hohen Schauwert besitzt. Bleibt zu hoffen, dass nicht nur ich, sondern die Leser es genauso empfinden.

Delbrück, September 2022

Dr. Manfred Klinkhardt

Vorwort

Transgourmet Seafood



Transgourmet Seafood zählt zu den bedeutendsten Fischgroßhändlern in Deutschland. Unsere Fisch & Seafoodprodukte werden weltweit eingekauft und Dank eines ausgeklügelten Frische-, Logistik- und Vertriebssystems an unsere Kunden in Deutschland, Österreich, Polen und der Schweiz ausgeliefert. Fisch & Seafood sind unsere Leidenschaft. Dabei steht das Thema Nachhaltigkeit bei uns voll im Fokus. Dafür erstellen wir jährliche Nachhaltigkeitsreports, haben eigene Leitsätze definiert und spezielle Nachhaltigkeits-sortimente entwickelt. In 2021 erhielten wir den Seafood Star für Nachhaltigkeit- den Branchen-Oscar der Fischwirtschaft. Seit mittlerweile fast 13 Jahren betreiben wir eine betriebseigene Seafood Akademie. Mehr als 13.000 Teilnehmer:innen konnten in dieser Zeit hier aus- und fortgebildet werden. Lernen & Erleben ist unsere Ausbildungsdevise. Innovationen, Wissen und Professionalität sind der Treibstoff jeden unternehmerischen Erfolgs.

Seit 2017 bilden wir auch die einzig staatlich anerkannten Fischsommeliers/-ièren mit IHK Zertifikat aus. Bis dato haben mehr als 130 Teilnehmer:innen das begehrte Zertifikat erhalten. Max. 26 Teilnehmer:innen

können jährlich an dieser Fortbildung teilnehmen. Das Wissen rund um das Thema Fisch & Seafood wird immer umfassender und kann in keinem der Berufsbilder, die mit Fisch zu tun haben, in seiner ganzen Komplexität vermittelt werden. Mit der Fortbildung zum Fischsommelier/-ière mit IHK Abschluss wird die Vielseitigkeit von Fisch & Meeresfrüchten in der ganzen Bandbreite thematisiert. Insgesamt 15 namhafte Dozenten:innen aus Wissenschaft und Wirtschaft referieren. Mehr als 70 Unterrichtsstunden sind vor Ort in Bremerhaven zu absolvieren und ein intensives Selbststudium in der theoretischen Warenkunde ist Voraussetzung.

Das Lehrbuch von Dr. Manfred Klinkhardt wird ab 2023 fester Bestandteil der theoretischen Fortbildung sein. Themen wie Riechen und Schmecken, Tastsinn und akustischer Sinn und Hörorgane der Fische sowie Körperformen, Antriebs-, Steuer- und Stabilisierungsorgane, Nahrungsaufnahme der Fische sowie Geschlechtsreife und Fortpflanzung sind ideale Ergänzungen der Fortbildung zum Fischsommelier/-ière und ein gutes Nachschlagewerk für die angehenden Experten.

Bremerhaven, im September 2022

Ralf Forner

Geschäftsleitung Transgourmet Seafood
und 1. Vorsitzender des Prüfungsausschuss zum
Fischsommelier/-ière

Inhaltsverzeichnis

1 Stippvisite in einer uns fremden Welt	1
2 Was den Fisch zum Fisch macht	9
3 Am Anfang war der Fisch	13
3.1 Viele Fragen bleiben offen	15
4 Der Mensch „entdeckt“ den Fisch	21
4.1 Fische werden zu Objekten der Wissenschaft	26
4.2 Taxonomische Systeme bringen Ordnung in die Fischwelt	27
5 Optimierte für das Leben im Wasser	31
5.1 Fischtypische und ungewöhnliche Körperformen	32
5.2 Größe ist nicht entscheidend	36
5.3 Kopfformen und Maulstellungen	37
6 Antriebs-, Steuer- und Stabilisierungsorgan Flosse	41
6.1 Flossenstrahlen als wirksame Verteidigungswaffen	45
6.2 Schwanzflosse (Caudale)	46
6.3 Rückenflosse (Dorsale)	51
6.4 Afterflosse (Anale)	57
6.5 Brustflosse (Pectorale)	60
6.6 Bauchflosse (Ventrals)	65
7 Skelettstrukturen: Stützgerüste des Körpers	69
7.1 Wirbelsäule – fest, elastisch und biegsam	72
7.2 Die Vielfalt der Schädelstrukturen	75
8 Muskeln machen Bewegungen möglich	81
8.1 Rumpfmuskulatur an den Körperseiten	86
8.2 Muskeln im Kopfbereich	90
8.3 Die Muskulatur der Flossen	92
9 Haut: Grenze und Verbindung zur Umwelt	95
9.1 Wachstum des Schuppenkleides	102
9.2 Der schützende Schleim auf der Fischhaut	108
9.3 Gifte als wirksame Verteidigungswaffen	111
9.4 Körperfärbungen: tarnen, täuschen, aufmerksam machen	113
9.5 Hartgebilde der Haut	121
9.6 Leuchtorgane und Biolumineszenz – Licht in der Dunkelheit	124
10 Schwimmblase: Auftrieb im Wasser und mehr	133
10.1 Wie kommt das Gas in die Schwimmblase?	139
10.2 Sonderfunktionen der Schwimmblase	143
11 Schwimmen: Fortbewegung im Wasser	147
11.1 Kraftraubend, präzise und effektiv	149
11.2 Unterstützende Körperstrukturen beim Schwimmen	155
12 Nervensystem: Kommandozentrale des Fischlebens	159
12.1 Mit allen Sinnen die Welt erfahren	164
12.2 Gleichgewicht und Orientierung im Raum	166
12.3 Konstante Verhältnisse im Inneren des Körpers	171

13	Aufbau und Funktionen der Hirnstrukturen	175
	<i>Endhirn (Telencephalon)</i>	176
	<i>Zwischenhirn (Diencephalon)</i>	176
	<i>Mittelhirn (Mesencephalon)</i>	178
	<i>Kleinhirn (Metencephalon)</i>	178
	<i>Verlängertes Mark (Myelencephalon oder Medulla oblongata)</i>	180
	13.1 Nerven übertragen Informationen im Körper	180
	13.2 Das Rückenmark (Medulla spinalis)	181
14	Das Fischauge und der visuelle Sinn	185
	14.1 Licht- und Sichtverhältnisse im Wasser	185
	14.2 Aufbau des Fischauges	189
	14.3 Dioptrischer Apparat und Bildprojektion	194
	14.4 Scharfe Bilder und optische Korrekturen	196
	14.5 Wie Lichtwellen zu Nervenimpulsen werden	201
15	Riechen und Schmecken: Aufspüren, Prüfen und Alarmieren	205
	15.1 Geschmackssinn und gustatorische Reize	211
16	Tastsinn: Spüren mit und ohne Berührung	217
17	Akustischer Sinn und Hörorgane der Fische	227
	17.1 Andere Methoden zur Schallwahrnehmung	231
	17.2 Gespräche unter Fischen	235
18	Elektrosensibilität und Stromerzeugung	241
	18.1 Der Stromgenerator im Fischkörper	244
	18.2 Elektrizität als Waffe und Orientierungshilfe	248
	18.3 Kommunikation mittels elektrischer Signale	250
19	Kiemens und Atmung	255
	19.1 Aufbau der Kiemen: die Kiemenbögen	259
	19.2 Kiemenblättchen („Filamente“)	260
	19.3 Kiemendornen und Kiemenreusen	264
	19.4 Ablauf der aktiven Atembewegungen	265
	19.5 Regulation der Atmung	268
	19.6 Spezielle Zelltypen in den Fischkiemen	268
	19.7 Akzessorische Atmungsorgane	269
	19.7.1 Hautatmung	271
	19.7.2 Hautatmung in Mund- und Kiemenhöhlen	271
	19.7.3 Kiemensäcke zur Luftatmung	273
	19.7.4 Das Labyrinth der „Kletterfische“	275
	19.7.5 Darmatmung	278
	19.7.6 Schwimmblasen mit respiratorischem Epithel	280
	19.7.7 Echte Fischlungen	281
	19.8 Fettsplaltung zur Sauerstoffgewinnung	283
20	Blutkreislauf und der „Lebenssaft“ Blut	287
	20.1 Zelltypen im Fischblut	288
	20.2 Fische ohne Erythrozyten und Hämoglobin	291
	20.3 Geschlossenes System Blutkreislauf	296
	20.4 Das Herz als ausdauerndes Pumporgan	297
	20.5 Lymphgefäßsystem der Fische	300
21	Nahrungsaufnahme und Verdauungsprozesse	303
	21.1 Beißen, Festhalten und Zerkleinern	310
	21.2 Aufbau und Anordnung der Verdauungsorgane	316
	21.3 Nährstoffresorption und Sonderaufgaben des Darms	324

22 Sekretion, Exkretion und Regulation	327
22.1 Osmoregulation, Ausgleich zwischen innerem Milieu und Umwelt	335
22.2 Hormone und das endokrine System der Fische	338
23 Geschlechtsreife und Fortpflanzung	347
23.1 Reifung der Geschlechtsprodukte	351
23.2 Besamung, Befruchtung und Fortpflanzungsstrategien	355
23.3 Varianten der Brutpflege	357
23.4 Lebendgebärende Fischarten	361
23.5 Jungfernzeugung und reine Weibchenbestände	364
23.6 Furchungsteilungen und embryonale Entwicklung	366
Literaturverzeichnis	371
Stichwortverzeichnis	375
Namensverzeichnis	384

Infoboxen

Wissen kompakt 1	<i>Lebenselixier Wasser – Ein Stoff mit ungewöhnlichen Eigenschaften</i>	6
Wissen kompakt 2	<i>Wie lange dauert die Entstehung neuer Arten? Evolution im Eiltempo</i>	17
Wissen kompakt 3	<i>Leben an der Grenze zwischen Luft und Wasser – Fische mit Lungen</i>	18
Wissen kompakt 4	<i>Die zoologische Sensation des 20. Jahrhunderts – Latimeria chalumnae, ein lebendes Fossil</i>	19
Wissen kompakt 5	<i>Christentum und Fisch – Geheimes Erkennungszeichen des Glaubens</i>	24
Wissen kompakt 6	<i>Fische in der Heilkunde – Aalfett, Hechtgalle und Barbenrogen</i>	29
Wissen kompakt 7	<i>Lebenslanger Kopfstand – Ungewöhnlicher Körperbau schützt vor Fressfeinden</i>	37
Wissen kompakt 8	<i>Artmerkmal Flossenstrahlen – Die Flossenformel als „Personalausweis“ des Fisches</i>	44
Wissen kompakt 9	<i>Brustflossen helfen beim Beutefang – Schrecken, Scheuchen und Versperren</i>	46
Wissen kompakt 10	<i>Sonderbare Fischgestalten – Ein schwimmender Mühlstein</i>	52
Wissen kompakt 11	<i>Ein besonders „anhänglicher“ Fisch – Bequemes und energiesparendes Reisen</i>	53
Wissen kompakt 12	<i>Positionswechsel unmöglich – Ausschließlich rechts oder eben links</i>	58
Wissen kompakt 13	<i>Fester Halt am Meeresgrund – Saugnapf statt Schwimmblase</i>	61
Wissen kompakt 14	<i>Die Sucht nach dem Rekordfisch – Skelett des „Heilbronner Hechts“ war ein Schwindel</i>	76
Wissen kompakt 15	<i>Deformationen des Gesichtsschädels – „Mopskopf“ mit verkürztem Oberkiefer</i>	78
Wissen kompakt 16	<i>Grunzen, Krächzen, Schnarchen – Lauterzeugung mit Muskelkraft</i>	90
Wissen kompakt 17	<i>Essence d’Orient – Das Silber der Fischschuppen</i>	115
Wissen kompakt 18	<i>Sinnvolle Nutzung eines unterschätzten Beiproduktes – Knackige Chips aus Fischhaut</i>	124
Wissen kompakt 19	<i>Lichtzauber in der Tiefsee – „Wie Sterne in einer klaren, mondlosen Nacht ...“</i>	127
Wissen kompakt 20	<i>Humboldts Gedanken zum Meeresleuchten – Elektrische Entladung oder chemische Mischung?</i>	129
Wissen kompakt 21	<i>Schweben wie ein Fisch im Wasser – Die „Schwimmblase“ des Tauchers</i> ..	136
Wissen kompakt 22	<i>Natürlicher Leim aus Fischschwimmblasen – Hochwertige Klebstoffe aus Schlachtabfällen</i>	144
Wissen kompakt 23	<i>Flugbegabte Fische – Auftrieb durch Schwimmspeed und Gegenwind</i>	153

Wissen kompakt 24	<i>Reizleitung in Nervenfasern – Alles basiert auf elektrischen Potenzialen. . . .</i>	161
Wissen kompakt 25	<i>Chemische Botenstoffe im Nervensystem – Neurotransmitter überbrücken Synapsen</i>	163
Wissen kompakt 26	<i>Otolithen verraten Fischart und -alter – Unverzichtbare Hilfsmittel der Fischereibiologie</i>	168
Wissen kompakt 27	<i>Nachwachsende „Ersatzteillager“ – Manche Fische können Gehirnteile regenerieren.</i>	182
Wissen kompakt 28	<i>Augen sind besonders gefährdet – Fische mit Schutzbrille.</i>	193
Wissen kompakt 29	<i>Geteilte Lichtsinnesorgane – Vier Augen sehen besser als zwei.</i>	195
Wissen kompakt 30	<i>Sehen an der Grenze des Lichts – Ständiger Blick nach oben.</i>	202
Wissen kompakt 31	<i>Geruch und Geschmack als Wegweiser – Duftspuren leiten zurück ins Geburtsgewässer.</i>	207
Wissen kompakt 32	<i>Barteln unterstützen die Nahrungssuche – Empfindsame „Spitzbärte“</i>	213
Wissen kompakt 33	<i>Bewegungen der Nachbarn erspüren – Ferntastsinn hält Heringsschwärme zusammen</i>	220
Wissen kompakt 34	<i>Drohgebärden und Wasserschlachten – Fights ohne Verletzungsrisiko. . . .</i>	223
Wissen kompakt 35	<i>Von der Zufallsbeobachtung zum wissenschaftlichen Beweis – „Ein Zwergwels, der kommt, wenn man ihm pfeift“</i>	230
Wissen kompakt 36	<i>Rätselhaftes Krächzen aus der Tiefe – Radau am Meeresgrund</i>	236
Wissen kompakt 37	<i>Elektrische Störenfriede – Jamming Avoidance Response</i>	250
Wissen kompakt 38	<i>Brutale Fischfangmethoden – „Der wunderbare Kampf der Pferde und der Fische ...“</i>	252
Wissen kompakt 39	<i>Artenvielfalt größer als vermutet – Statt eins jetzt drei</i>	254
Wissen kompakt 40	<i>Frischeindikator und Warnsignal – Kiemen sind universelle Anzeigeorgane</i>	265
Wissen kompakt 41	<i>Vorzüge verschiedener Welten – Was trieb Fische an Land?.</i>	292
Wissen kompakt 42	<i>Ungleiche Bedingungen – Atmen im Wasser und an der Luft.</i>	295
Wissen kompakt 43	<i>Spezielle Kiemen für die Augen – Die Pseudobranchie der Knochenfische. .</i>	300
Wissen kompakt 44	<i>Würzsaucen aus Fischeingeweiden – Garum und Nuoc mam</i>	306
Wissen kompakt 45	<i>Insulin aus der Bauchspeicheldrüse – Mit „Teufels“ Hilfe gegen Diabetes. .</i>	309
Wissen kompakt 46	<i>Enzymatische Garung und Reifung – „Matjestät“ Hering</i>	323
Wissen kompakt 47	<i>Ammoniak, Harnstoff und Harnsäure – Drei Methoden zur Stickstoffausscheidung.</i>	329
Wissen kompakt 48	<i>Wasserfest und elastisch – Klebstoff aus der Niere</i>	332
Wissen kompakt 49	<i>Nichts für empfindsame Mägen – Seafoodspezialität Gammelhai.</i>	345
Wissen kompakt 50	<i>Zwergmännchen beim Tiefseeanglerfisch – Scheidung ist unmöglich</i>	356
Wissen kompakt 51	<i>Laichen im Mondlicht am Strand – Kein Raum für Romantik</i>	359

1 Stippvisite in einer uns fremden Welt

Fische sind die einzigen Wirbeltiere, die das Wasser als Lebensraum vollkommen für sich erobert haben. Wale, Delfine, Robben und ähnliche „Nichtfische“ kommen zwar sehr gut im Wasser zurecht, konnten sich aber nicht vollständig von der Welt darüber lösen, denn als Luftatmer müssen sie regelmäßig zur Oberfläche zurückkehren. Ein solcher Aufwand bleibt den Fischen erspart, weil sie dank ihrer Kiemen den im Wasser gelösten Sauerstoff nutzen können. Diese und etliche andere Fähigkeiten ermöglichen es ihnen, dauerhaft im Wasser zu leben. Und nicht nur das, denn durch zahllose Anpassungen ist es den Fischen zudem gelungen, ganz unterschiedliche aquatische Lebensräume zu besiedeln. Ob im Süß- oder Salzwasser, in reißenden Bächen oder trägen Flüssen, klaren Seen oder trüben Tümpeln, in Seegraswiesen, zwischen Geröll oder an steilen Felswänden, auf Korallenriffen, im flachen Wasser vor den Küsten oder im offenen Meer und sogar am tiefsten Meeresgrund – überall findet man Fische.

Viele Fischarten sind Generalisten, die mit fast allen Verhältnissen zurechtkommen. Es gibt aber auch ausgesprochene Spezialisten, die unter sehr ungewöhnlichen Umweltbedingungen leben. Zum Beispiel in den polaren Meeren, deren Wassertemperaturen oft unter 0 °C sinken. Einige Fischarten überleben sogar ein kurzzeitiges Einfrieren im Eis, wenn ihr Körpergewebe nicht komplett durchfriert. Andere bevorzugen warme Quellen, die uns Menschen für ein Bad vermutlich zu heiß wären. Wie der Tecopa Pupfish (*Cyprinodon nevadensis calidae*), der bis etwa 1970 in 38 °C heißen Quellen in der kalifornischen Mojave-Wüste vorkam, heute jedoch als verschollen gilt. Selbst in stockfinsternen Felshöhlen

und in der Tiefsee existieren Fische. Dabei war lange Zeit unklar, ob am Grund der Tiefsee überhaupt höheres Leben möglich ist. Schließlich lastet in 10 km Tiefe auf jedem Quadratcentimeter Körperoberfläche der gewaltige Druck von etwa 1.000 bar, was einem Gewicht von nahezu 1 t/cm² entspricht. Man nahm an, dass kein Wirbeltier derartige Bedingungen übersteht, weil es einfach zerquetscht wird. Ein Irrtum, wie Jaques Piccard beweisen konnte, als er am 23. Januar 1960 mit seinem Tauchboot Trieste in 10.916 m Tiefe den Grund des Challenger-Grabens erreichte: „Als wir die letzte Strecke zum Grund zurücklegten, erblickte ich etwas Wundervolles. Genau unter uns lag auf dem Boden ein Plattfisch, er ähnelte einer Seezunge, war etwa 30 cm lang und 15 cm breit ... Hier erhielten wir in einer Sekunde die Antwort, nach der Biologen Jahrzehnte gesucht hatten. Konnten höhere Tiere in den größten Tiefen des Ozeans bestehen? Ja! es war möglich“.

Fast drei Viertel der Oberfläche unseres Planeten sind mit Wasser bedeckt, über 97% dieser riesigen Wasserfläche entfallen auf die Meere. Bei einer durchschnittlichen Tiefe von 4 km steht den Fischen in den Ozeanen somit ein 300 mal größerer Lebensraum zur Verfügung als Landtieren, deren Lebensraum auf dem Festland nur etwa bis zur Spitze der Baumkronen reicht. Diese Berechnung vermittelt jedoch ein falsches Bild, denn Fische sind im Ozean nicht überall gleichmäßig verteilt. Kaum mehr als ein Zehntel der Meeresfischarten sind echte Hochseebewohner, die sich die größte Zeit ihres Lebens fern der Küsten im freien Ozean aufhalten. Fast drei Viertel aller Fischarten im Meer konzentrieren sich in den bis zu 200 m tiefen Schelfgebieten rund um die

Abb. 01. Zackenbarsche sind ausgezeichnet an die Bedingungen im Wasser angepasst. Sie leben hauptsächlich in den Küstenbereichen der tropischen und gemäßigten Meere.

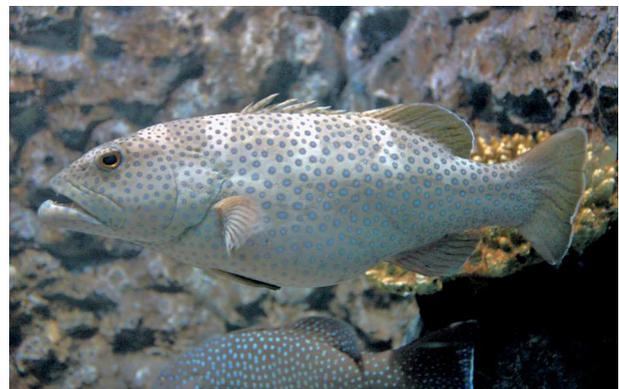




Abb. 02. Grenadierfische dringen bis in 2.000 Meter Wassertiefe vor, halten sich zeitweilig aber auch im flacheren Wasser auf. Regional haben sie sogar fischereiliche Bedeutung.

Kontinente. Nur die oberen Wasserschichten der Meere sind ausreichend durchlichtet und biologisch produktiv. Darum entwickelt sich auf den flachen Schelfen besonders viel Plankton, das am Beginn der Nahrungsketten im Meer steht. Wissenschaftler haben berechnet, dass die mikroskopisch kleinen Schwebelagen, die als photosynthetisch aktives Phytoplankton in schier unglaublichen Mengen im Meer treiben, jährlich annähernd 320 Milliarden Tonnen organische Substanz produzieren. Danach werden also 90% der gesamten Bioproduktion auf unserer Erde in den Ozeanen erzeugt. Vom Phytoplankton, das die Basis der marinen Nahrungsketten bildet, ernähren sich Unmengen niederer Krebse und anderer winziger Organismen des Zooplanktons. Sie stellen wiederum die Hauptnahrung der planktonfressenden Fischarten wie Hering, Sardine oder Sardelle dar, die dann ihrerseits wieder von verschiedenen Raubfischen gefressen werden.

Gemessen an ihren Dimensionen bieten die dunklen Weiten der Tiefsee den größten Raum in den Ozeanen. Doch die Tiefsee ist ein extremer Lebensraum, der hohe Anforderungen an seine Bewohner stellt. Dort müssen sie nicht nur den Druck der Wassersäule, sondern auch niedrige Temperaturen und dauernde Dunkelheit ertragen. Mit empfindlichen Messgeräten lassen sich zwar in 1.000 m Tiefe noch minimale Restlichtmengen nachweisen. Für das menschliche Auge ist es 500 m unter der Oberfläche aber bereits stockdunkel. Seit 1979 vor den Galapagos-Inseln Schwarze und Weiße Smoker entdeckt wurden, wissen wir, dass es am dunklen Meeresgrund artenreiche Lebensgemeinschaften gibt, die nicht auf Licht und Photosynthese, sondern auf Chemosynthese basieren. Obwohl seither noch etliche weitere dieser dicht besiedelten Spots gefunden wurden, ist der überwiegende Teil der Tiefsee aber relativ unproduktiv und nährstoffarm. Die meisten Tiefseebewohner sind direkt oder indirekt auf Nahrung angewiesen, die aus den darüber liegenden Wasserschichten zu ihnen gelangt. Etwa in Form von abgestorbenem Plankton, das wie Schnee von der Oberfläche in die Tiefe rieselt, oder anderer toter Organismen, die langsam zum Meeresgrund sinken.

Im Vergleich zu anderen Regionen der Meere wissen wir über die Tiefsee und ihre Bewohner jedoch erst wenig, denn die Forschung in der Tiefsee stellt hohe Anforderungen an Mensch und Technik und ist entsprechend teuer.

Die Welt unter Wasser blieb den Menschen über Jahrtausende verschlossen. Selbst vieles von dem, was man im klaren flachen Wasser sehen konnte, wurde als fremd, geheimnisvoll und bedrohlich empfunden. Seefahrer, Fischer und Küstenbewohner hatten ein ambivalentes Verhältnis zum Meer. Einerseits wussten sie es zu nutzen, nicht selten sicherte es sogar ihren Lebensunterhalt. Andererseits war es aber auch Ursprung von Ängsten und Fantasien, weil den Menschen vieles so unerklärbar wie das Wirken höherer Gewalten erschien. Etwa wenn das Meer wieder mal wütete und seine Fluten zerstörerische Ausmaße annahm, wenn die sehnsüchtig erwarteten Fischschwärme ausblieben oder ein Boot nicht mehr in den Hafen zurückkehrte. Auf der Suche nach plausiblen Antworten entstanden Gerüchte und Legenden.

Wenn ein vermeintlich sicheres Schiff plötzlich spurlos in den Weiten der Meere verschwand, war man gerne bereit zu glauben, dass es von einem furchtbaren Seeungeheuer in die Tiefe gerissen wurde. Zumal gestandene Seeleute beteuerten, diese schrecklichen Monster selbst gesehen zu haben. Riesige Wale, die Schiffe mit einem Flukenschlag zertrümmern konnten, glotzügige Kraken mit langen Fangarmen, die bis in die Takelage reichten, heimtückische Nixen und Nöks, gigantische Seeschlangen und was die Meere sonst noch an entsetzlichen Scheusalen zu bieten hatten. Einige dieser Fabelwesen, die den Menschen damals einen gehörigen Schrecken einjagten, sind in alten Seekarten und Naturbeschreibungen sogar detailgetreu dargestellt. Auf uns wirken diese Ungeheuer heute eher naiv oder komisch, aber wir sind ja von Hollywood und seinen realistisch animierten Computergrafiken verwöhnt, die Ansprüche an Grusel und Horror sind inzwischen um ein Vielfaches höher. Was damals noch primitive Strichzeichnung war, kommt heute technisch

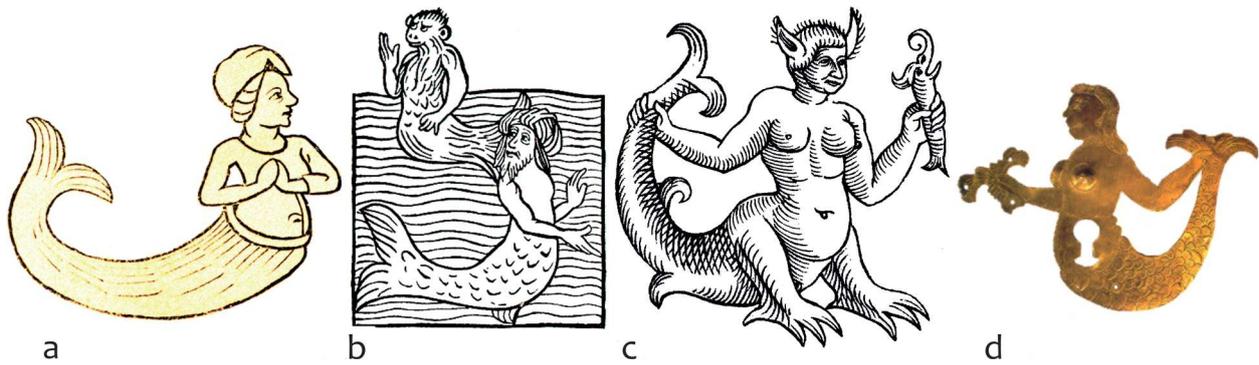


Abb. 03. In fast jeder Kultur kennt man Wassergeister, meist halb Mensch, halb Tier. Die weiblichen Wassergeister hießen Nixe, Seejungfer oder Wasserfrau, die männlichen Unwesen wurden Nicker, Nix, Nöck oder Wassermann genannt.
 a) Meermensch (Hortus sanitatis, 1491).
 b) „Meeraff“ und Meertürke (Hortus sanitatis, 1491).
 c) Meerteufel, angeblich um 1400 in der Adria gefangen (Gesner 1575).
 d) Dieser Messingbeschlag in Form einer Nixe zierte das Schloss einer Seemannskiste (Schlüsselloch!).

perfekt getrickst daher. Doch die Grundprinzipien sind identisch: es ist unsere Phantasie, die Urängste in uns weckt, die tief im Unterbewusstsein stecken. Ein Beispiel dafür ist der Weiße Hai, den Steven Spielberg so effektiv in Szene setzte. Auch der moderne Mensch ist nicht ganz frei von unterschwelligem Ängsten, denn wer weiß denn schon genau, welche Gefahren in den bedrohlichen Tiefen der Gewässer auf uns lauern? Was man nicht kennt oder weiß, einem zunächst vielleicht unerklärbar erscheint, beflügelt unserer Phantasie und wird zur Quelle für manchen Aberglauben.

Auch heute noch tragen manche Zeitgenossen eine Schuppe ihres Silvesterkarpfens im Portemonnaie, damit ihnen das ganze Jahr über das Geld nicht ausgehen möge. Vorsichtige Fischer verzichten an Bord auf Bananen, weil sie schlechte Fänge nach sich ziehen. Und dass Frauen auf Schiffen Unglück bringen, weiß doch wirklich jeder. In Norwegen vermeiden es Angler und Fischer, das Wort „Halibut“ auszusprechen und reden stattdessen lieber vom „Hellefisk“, weil sie sonst garantiert keinen Heilbutt fangen. Wer einen Mondfisch in seinem Netz findet, lässt ihn tunlichst schnell wieder frei, denn das sind bekanntlich ganz besondere Wesen.

Ähnlich wie das Verhältnis des Menschen zum Meer sahen auch seine Beziehungen zu den Gewässern im Binnenland aus. Er nutzte sie zwar für den Fischfang, als Verkehrswege oder um seine Wassermühlen anzutreiben, doch auch sie lösten Beklemmungen und Ängste aus, wie Gruselsagen und Schauergeschichten über düstere Moore und Flussauen, mörderische Wasserwirbel oder angeblich grundlose Seen beweisen. Noch nicht einmal 0,1% des Wassers auf der Erde entfällt auf die Flüsse und Seen. Sie bedecken ungefähr 3% der kontinentalen Festlandsfläche, wobei der Anteil aber regional stark variiert. Im seenreichen Finnland sind 12% der

Landesfläche von Gewässern bedeckt, in manchen Gegenden Nordafrikas sind es hingegen kaum 0,01%.

Obwohl nur etwa 1,5% des Wassers auf der Erde als Süßwasser vorliegt – der größte Teil davon zu Eis gefroren an den Polkappen – beherbergen die Flüsse, Seen und anderen Festlandsgewässer rund 41% aller heute bekannten Fischarten. Trotz der ungleich größeren Dimensionen der Ozeane sind lediglich 58% echt marine Arten, die dauernd im Salzwasser leben. Das restliche Prozent entfällt auf all jene Fischarten, die als Wanderer zwischen beiden Lebensräumen wechseln. Die hohe Artenzahl im Süßwasser resultiert auch aus der Aufsplitterung der Festlandgewässer in zahlreiche, voneinander isolierte Biotop. Den vielen zehntausend Seen und Tümpeln vom Hochgebirge bis hinab ins Flachland, die zahllosen Ströme mit ihren Zuflüssen und Seitenarmen, Bächen und Gräben, von denen fast jeder seinen Bewohnern, Wasserpflanzen, Fischen, Amphibien und Insekten, jeweils eigene, charakteristische Lebensbedingungen bietet (Abb. 04). Oft sind die Gewässer zudem durch Wasserfälle, Untiefen, dazwischenliegende Landflächen oder andere Barrieren voneinander getrennt, so dass sich nicht alle Individuen einer Art miteinander fortpflanzen. Dadurch kann sie im Laufe der Zeit in neue Tochterarten aufsplintern.

Wie viele Fischarten in einem bestimmten Gewässer leben, hängt deshalb nicht allein von dessen Größe und der Anzahl der unterscheidbaren Lebensräume, sondern auch seinem erdgeschichtlichen Alter ab. In der Donau wurden bislang etwa 70 Fischarten nachgewiesen, im afrikanischen Kongo sind es über 500 und im Amazonas sogar mehr als 1.000. In den Meeren ist die Situation ähnlich. In den Polargebieten liegt die Artenzahl bei etwa 100, in der Nordsee wurden bislang ungefähr 170 Fischarten gezählt und im Roten Meer soll es mehr als 1.000 Arten geben. Allerdings korrespondiert die



Abb. 04. Übersicht einiger natürlicher Biotope und künstlich geschaffener Fischproduktionsgewässer vom Binnenland bis zur Küste: a) Hochgebirgssee, b) Gebirgsbach, c) Stausee, d) See im Gebirgsvorland, e) Durchfluss-Rinnenanlage (Aquakultur), f) Entwässerungsgraben, g) Teich mit regulierbarem Wasserstand (Aquakultur), h) mäandrierender Flusslauf, i) Sumpfbereich, j) rundes Kleingewässer (Söjl) in offener Landschaft, k) verlandender Altarm eines Flusses, l) Unterlauf des Flusses, m) Flachlandsee, n) künstlich geschaffener Kanal, o) Strandsee mit wechselnden Salzgehalt, p) Mündungsgebiet eines Flusses (Estuar), q) Flachwasser vor der Küste (umgezeichnet nach Schröder 1986).

Anzahl der Arten nicht mit der Größe der Fischschwärme. Eine Faustregel besagt, dass überall da, wo wenige Arten vorkommen, die Anzahl der Individuen besonders hoch ist. Zumindest im Nordatlantik trifft das zu, denn dort kommen Hering, Seelachs und Kabeljau in riesigen Mengen vor, obwohl die Artenzahl insgesamt relativ gering ist. Deshalb lohnt Fischerei sich gerade in solchen Meeresgebieten. In vielen tropischen Gewässern schwimmen zwar weitaus mehr Arten, doch die leben meist einzeln, in kleinen Familienverbänden oder überschaubaren Gruppen.

Das führt uns fast zwangsläufig zur Frage, wie viele Fischarten es weltweit überhaupt gibt. Die meisten Angaben liegen derzeit zwischen 25.000 und 30.000 Arten. Einige Fachleute meinen sogar, es könnten mehr als 31.000 sein. Solche Abweichungen entstehen vor allem dadurch, dass nicht jede Beschreibung einer neuen Art tatsächlich einer wissenschaftlichen Prüfung standhält. Allerdings dauert es oft Jahre, bis der Artstatus von autorisierten Experten geprüft und anerkannt oder abgelehnt wird. Bis dahin wird der Vorschlag mitgezählt, was die Abweichungen bei der Anzahl der Fischarten

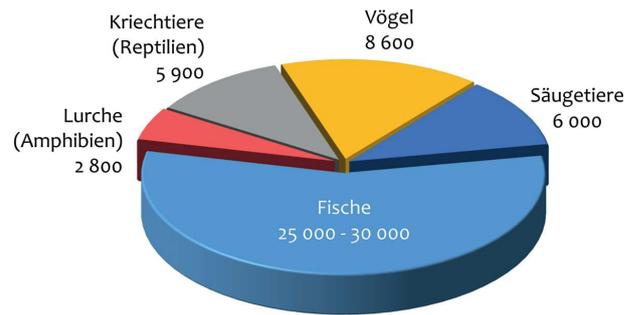


Abb. 05. Durchschnittliche Artenzahl der großen Wirbeltierklassen. Die Klasse der Fische umfasst mehr als die Hälfte der beschriebenen und anerkannten Wirbeltierarten.

teilweise erklärt. Unabhängig davon steht aber fest, dass Fische mehr als die Hälfte aller bekannten Wirbeltierarten ausmachen. Damit sind Fische die artenreichste Klasse der Wirbeltiere (Abb. 05)!

Die Fische beeindruckten aber nicht allein durch ihre enorme Anzahl an Arten, sondern auch durch die ungeheure Menge an Individuen in den jeweiligen Arten. Forscher haben zum Beispiel berechnet, dass einige der riesigen Heringsschwärme im Nordatlantik rund 3 Milliarden Tiere umfassen können. Vergleichbare Individuenzahlen in einem einzigen Schwarm sind bislang von keiner anderen Wirbeltiergruppe bekannt. Am nächsten kam den Heringen vielleicht die nordamerikanische Wandertaube, deren Schwärme einst mehrere Hundert Millionen Vögel groß gewesen sein sollen. Aber diese Vogelart wurde vom Menschen ausgerottet, das letzte Exemplar starb bereits 1914 im Zoo von Cincinnati. Wahrscheinlich sind die Fische heute die einzige und letzte Wirbeltiergruppe, die noch gigantische Schwärme mit mehreren Hundert Millionen Exemplaren aufzuweisen hat. Schwärme von mehreren Kilometern Länge und Breite sind nicht nur vom Hering, sondern auch von anderen Fischarten bekannt, die vorwiegend Plankton fressen, das in bestimmten Regionen der Meere in schier unfassbaren Mengen zur Verfügung steht. Davon profitieren nicht nur Heringe, sondern auch Sardinen, Sardellen und andere planktonfressende Fischarten.

Es mag vielleicht überraschen, doch genau genommen gibt es den Begriff ‚Fisch‘ als präzise zoologische

Gruppenbezeichnung überhaupt nicht. Biologen unterscheiden nämlich bei dem, was der Laie gefühlsmäßig als ‚Fisch‘ wahrnimmt, vier Gruppen von Wirbeltieren, zwischen denen trotz gewisser Ähnlichkeiten keine allzu engen verwandtschaftlichen Beziehungen bestehen (Abb. 06). Inger und Neunaugen, Haie und Rochen sowie die Knorpelfische leben zwar alle im Wasser, atmen mit Kiemen und haben eine fischtypische Körpergestalt, weisen aber auch gravierende Unterschiede auf. Würde man sie alle zusammen einfach als ‚Fische‘ bezeichnen, wäre das genauso, als ob man jedes Tier, das ein klein wenig fliegen kann, den Vögeln zuordnet.

In ihren biologischen Merkmalen weisen die Inger (Schleimaale) und Neunaugen die größten Unterschiede gegenüber den „echten Fischen“ auf. Sie besitzen noch keine Kiefer (daher der Name ‚Kieferlose‘), um Nahrung festzuhalten und zu zerkleinern, sondern raspeln mit kleinen Hornzähnen Nahrungspartikel von ihrer Beute ab. Inger und Neunaugen sind primitive Tiere, gleichsam lebende Fossilien, die sich kaum von ihren Vorfahren unterscheiden, die vor rund 350 Millionen Jahren in den urzeitlichen Gewässern schwammen. Bis auf ihre langgestreckte aalähnliche Körpergestalt haben sie wenig mit echten Fischen gemein, weshalb sie hier auch nicht näher betrachtet werden sollen.

Das gilt auch für Haie und Rochen, die ebenfalls bedeutsame Unterschiede gegenüber den echten Fischen aufweisen, sowohl äußerlich als auch innerlich. Während Haie und Rochen zum Beispiel noch fünf bis sieben

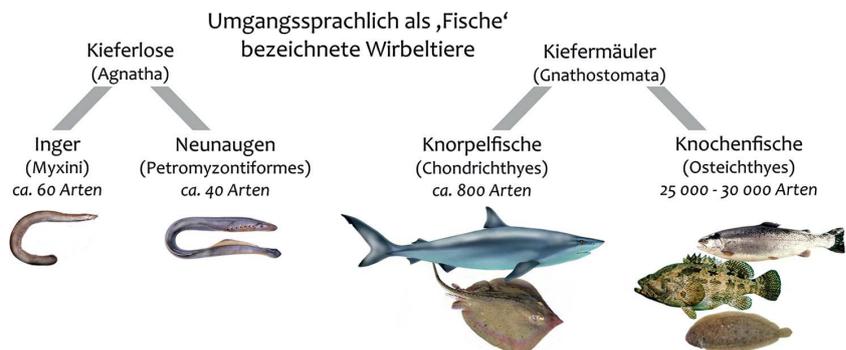


Abb. 06. Bei genauer Betrachtung lassen sich in der Gruppe jener Wirbeltiere, die Umgangssprachlich als „Fische“ zusammengefasst werden, vier verschiedene Untergruppen unterscheiden.

separate Kiemenöffnungen besitzen, werden die Kiemen der echten Fische von einem knöchernen Kiemendeckel geschützt. Die Haut der Haie fühlt sich rau wie Sandpapier an. Ihre Schuppen sind relativ dick und wie Zähne von einer harten Schmelzschicht bedeckt. Verglichen damit sind die Schuppen der echten Fische viel dünner und leichter. Außerdem haben Haie keine Schwimmblase. Sie lagern dafür Fett in der Leber ein, was für gewissen Auftrieb sorgt. Der Innenraum des Haidarms ist bei vielen Arten durch eine spiralförmig gewundene Innenwand vergrößert. Auch die Schädelstrukturen von Haien und Rochen weichen sehr deutlich von denen der echten Fische ab.

Der entscheidende Unterschied liegt jedoch in der Bausubstanz des Skeletts. Bei den Haien und Rochen werden Schädel, Wirbelsäule sowie die anderen Skeletteile von Knorpelzellen gebildet, bei echten Fischen bestehen sie hingegen aus zellulärer Knochensubstanz. Selbst in den relativ weichen „Gräten“ des Herings, der Forelle oder vom Karpfen lassen sich unter einem Mikroskop zahllose Knochenzellen nachweisen. Manche Haiarten mögen zwar einem Thunfisch und einige Rochen vielleicht einem Plattfisch äußerlich ähnlich sehen, doch die Unterschiede zwischen ihnen sind groß. Zoo-

logen unterscheiden zwischen Knorpelfischen (Chondrichthyes), zu denen Haie und Rochen gehören, und Knochenfischen (Osteichthyes), die den überwiegenden Teil der Fischarten ausmachen, die heute in den Gewässern leben. Darum sollen die Knochenfische im Mittelpunkt dieses Buches stehen. Wo es sich anbietet, wird zwar auch auf Haie und Rochen verwiesen, doch im Kern soll es hier hauptsächlich um Hering und Kabeljau, Plötze, Barsche, Thunfische und viele andere Knochenfische gehen.

Es sind einzigartige und faszinierende Lebewesen, die uns den Ideenreichtum der Natur in seiner ganzen Vielfalt und Schönheit offenbaren. Fische haben eine kaum überschaubare Fülle von außergewöhnlichen, oft sogar verblüffenden Fähigkeiten entwickelt, die es ihnen ermöglichen, sich in nahezu allen Lebensbereichen der Gewässer erfolgreich zu behaupten. Die wichtigsten davon soll dieses Buch erklären. Denn wer mehr über die Fähigkeiten und Lebensstrategien der Fische weiß, entdeckt in der Natur auch viel mehr und gewinnt neue faszinierende Einblicke und Erkenntnisse. Und gerade das macht die Beschäftigung mit Fischen letztlich so interessant und spannend.

Wissen kompakt 1

Lebenselixier Wasser **Ein Stoff mit ungewöhnlichen Eigenschaften**

Wasser ist Voraussetzung für jegliches Leben. Lebende Organismen brauchen Wasser als Baustoff, als Lösungs- und Transportmittel, oft auch zur Wärmeregulation. Der menschliche Körper besteht zu 60 bis 70% aus Wasser, bei vielen Fischarten ist der Wasseranteil noch höher. Wenn Weltraumforscher auf fremden Planeten Leben vermuten, suchen sie zuerst nach Wasser. Fische sind besonders eng an Wasser gebunden, denn es ist ihr Lebensraum. Körperbau, Fortpflanzung und Ernährung, letztlich ihr gesamtes Leben ist perfekt an dieses Medium angepasst, das sich durch einige bemerkenswerte Besonderheiten auszeichnet.

Wasser hat zum Beispiel eine wesentlich höhere Dichte als Luft. Wer schon einmal versucht hat, im Wasser zu laufen, weiß, wieviel Kraft es kostet, den Widerstand des Wassers zu überwinden. Ein Kubikmeter Wasser ist 775 mal schwerer und somit dichter als ein Kubikmeter Luft. Das hat für Fische sowohl Vor- als auch Nachteile. Einerseits müssen sie sehr viel Energie für ihre Fortbewegung aufwenden, andererseits ermöglicht es ihnen der starke Auftrieb im dichten Medium Wasser aber auch, auf ein aufwändiges Stützsystem zu verzichten.

Höchst bedeutsam ist die Dichteanomalie des Wassers. Bei den meisten Substanzen steigt die Dichte im gleichen Maße, wie die Temperatur absinkt. Mit Ausnahme des Wassers, das sein Dichtemaximum bei 4 °C erreicht. Unterhalb von 4 °C nimmt seine Dichte wieder ab, bis es bei 0 °C in den festen Zustand übergeht und zu Eis erstarrt. Minimale Dichteunterschiede sorgen dafür, dass

Wasser beim Abkühlen zu zirkulieren beginnt. Zuerst sinkt das kälter und schwerer werdende Wasser nach unten, während das wärmere und leichtere zur Oberfläche auftreibt. Sobald das Wasser bei 4 °C jedoch seine maximale Dichte erreicht hat, kehrt sich dieser Prozess um. Denn jetzt sind plötzlich jene Wasserschichten, deren Temperatur unter 4 °C liegt, relativ leichter, so dass sie an die Oberfläche aufsteigen. Dort bleiben sie dann und kühlen weiter bis zum Gefrierpunkt ab. Deshalb frieren Gewässer stets von oben nach unten zu. Dieser Effekt wird noch dadurch verstärkt, dass sich der Wasserkörper um etwa ein Elftel seines Volumens ausdehnt, wenn er zu Eis erstarrt. Darum ist Eis auch leichter als Wasser und schwimmt an der Oberfläche. Es wirkt wie ein schützendes Dach, das die Fische in der Tiefe vor starker Kälte bewahrt. Denn in den tieferen Wasserschichten bleibt die Temperatur lange knapp unter 4 °C, weil die Kälte nur langsam in die Tiefe vordringt. Die Dichteanomalie gibt es auch im Meerwasser. Typisches Meerwasser mit einem Salzgehalt von 3,5% erreicht sein Dichtemaximum bei -3,52 °C, gefriert aber schon bei -1,91 °C. Das ist der Grund, warum selbst hunderte Tonnen schwere Eisberge an der Meeresoberfläche treiben können.

Zu den Besonderheiten des Wassers gehört auch seine relative thermische Stabilität. Sie sorgt dafür, dass die täglichen Temperaturschwankungen im Wasser geringer ausfallen und langsamer erfolgen als an der Luft. Ursache dafür ist die hohe spezifische Wärmekapazität des Wassers. Es kann große Wärmemengen aufnehmen, ohne dass sich seine Temperatur dadurch abrupt und übermäßig ändert. Für wechselwarme Fische, deren Körpertemperatur von der Temperatur der Umgebung abhängt, bietet diese thermodynamische Eigenschaft viele Vorteile, denn sie erzeugt relativ kons-

tante Lebensbedingungen. Tages- oder jahreszeitliche Änderungen der Außentemperaturen vollziehen sich somit im Wasser wesentlich langsamer. Den meisten Fischarten bereiten plötzliche Temperaturänderungen nämlich mehr Probleme als gleichbleibend hohe oder niedrige Temperaturen. Selbst in tropischen Gewässern ist es in 180 bis 250 m Tiefe mit Wassertemperaturen zwischen 4 und 10 °C verhältnismäßig kalt, in den Polarregionen übersteigen die Temperaturen sogar in geringer Tiefe selten -1 °C.

Für konstante Lebensbedingungen sorgen auch die Salze und anderen Substanzen, die im Wasser gelöst sind. Während Landtiere ihren Bedarf an Elektrolyten meist aufwändig über die Nahrung decken müssen, stehen sie Fischen im Wasser in nahezu unbegrenzter Menge zur Verfügung. Die Zusammensetzung des Meerwassers ist in allen Ozeanen fast identisch. Die Menge der im Seewasser gelösten Verbindungen kann zwar geringfügig variieren, doch ihr Verhältnis zueinander ist immer gleich („Ionenkonstanz der Meere“). Im offenen Meer sind im Durchschnitt in einem Liter Wasser 35 Gramm Salze gelöst, davon entfallen 27 Gramm auf Kochsalz, also Natriumchlorid. Manche Substanzen sind in riesi-

gen Mengen, andere nur in winzigen Spuren enthalten. Bisher wurden im Seewasser über 60 verschiedene Elemente nachgewiesen. Würden sämtliche, in den Meeren gelöste Salze in fester Form vorliegen, so entspräche das etwa der Landmasse aller Kontinente oberhalb des Meeresspiegels.

Konstante Verhältnisse herrschen im Wasser auch, was den Gehalt an gelöstem Sauerstoff angeht. Bei 0 °C und einem bar Druck lassen sich in einem Liter destilliertem Wasser 28,64 Kubikzentimeter Luft lösen. Da der Löslichkeitskoeffizient von Sauerstoff jedoch größer ist als der von Stickstoff, weicht die Zusammensetzung der im Wasser gelösten Luft von den Mengenverhältnissen in der Atmosphäre ab. Im Schnitt enthält im Wasser gelöste Luft 36% Sauerstoff und 64% Stickstoff. Die Menge des Sauerstoffs, der sich insgesamt im Wasser lösen lässt, hängt von der Temperatur und den anderen, bereits im Wasser gelösten Stoffen ab. Darum kann Seewasser, das schon viele Salze enthält, weniger Sauerstoff aufnehmen als Süßwasser. Je höher die Temperatur des Wassers ansteigt, desto geringer ist sein Aufnahmevermögen für Sauerstoff.



Abbildung Wk 1. Jedes Gewässer hat charakteristische Eigenschaften. Salzgehalt, tages- und jahreszeitlicher Temperaturverlauf, Nährstoff-, Sauerstoff- und Trübungstoffgehalte sowie andere Merkmale des Wassers können sehr unterschiedlich sein.

- a) Naturnaher Bach im Mittelgebirge (Deutschland)
- b) Nährstoffreicher Flusslauf in den Tropen (Thailand)
- c) Nordpazifik, Küste von British Columbia (Kanada)
- d) Nordatlantik, Fjord im Frühjahr (Norwegen)

2 Was den Fisch zum Fisch macht

Einen Fisch zu erkennen ist wirklich nicht schwer. Selbst das stilisierte Christus-Symbol, das man gelegentlich als Aufkleber auf Autos sieht, ist trotz seiner starken Reduzierung auf zwei spiegelbildlich angeordnete Kreisbögen, die sich im hinteren Bereich überkreuzen, sofort als Fisch zu identifizieren (Abb. 07). Genau genommen ist der Erkennungswert des Piktogramms erstaunlich, denn es weist nur wenige der Merkmale auf, die charakteristisch für Fische sind. Zwar haben etliche Arten tatsächlich eine derartige Körperform, doch bis auf die ange deutete Schwanzflosse fehlen alle anderen Kennzeichen. Wir erkennen den Fisch aber trotzdem, weil das Symbol dem imaginären Bild eines Fisches, das wir im Gehirn gespeichert haben, sehr nahe kommt. Bereits im frühen Kindesalter zeichnen wir Fische meist in dieser Form. Weitaus erstaunlicher ist es deshalb vielleicht, dass auch Fischarten, deren Gestalt von der gewohnten Körperform abweicht, meist auf Anhieb als Fisch erkannt werden. Plattfische zum Beispiel, die mit ihren abgeflachten Körpern auf der Seite liegen, oder langgestreckte Aale, die eher an Schlangen erinnern. Sogar Seenadeln und Seepferdchen, deren Körperformen kaum noch dem Habitus eines Fisches entsprechen, werden meist ohne größere Probleme den Fischen zugeordnet.

Dabei ist es gar nicht so leicht, charakteristische Merkmale zu finden, die auf alle Fischarten gleichermaßen zutreffen und den Typus des Fisches eindeutig beschreiben, ihn zuverlässig von anderen Tiergruppen abgrenzen. Die Fähigkeit zum Leben im Wasser allein reicht dafür nicht aus, denn das können andere Tierarten auch, man denke nur an Tintenfische, Krebse, Muscheln oder manche Schnecken. Auch Flossen eignen sich dafür nur bedingt, denn Wale, Delfine und Robben nutzen ähnliche Gebilde als Antriebsorgane im Wasser. Ihre „Flossen“ sind zwar vollkommen anders gebaut als die der Fische, doch viele Menschen sehen Wale und Delfine auch heute noch immer als eine Art Fisch („Wal-fisch“) an.

Wer sich mit Fischen beschäftigt, muss damit leben, dass seine Aussagen nie für alle Arten gleichermaßen zutreffen. Fast immer findet sich irgendwo eine Ausnahme, die von der Norm abweicht. Die Vielfalt an Körperformen, der Anzahl und Anordnung der Flossen sowie anderer Merkmale unter den mehr als 25.000 bekannten Fischarten ist außerordentlich groß. Die meisten Fische haben Schuppen, gut entwickelte Augen und sieben Flossen, die sowohl paarig als auch unpaarig sein können. Doch es gibt auch Arten mit vollkommen nackter Haut, ohne Augen und mit abweichender Flossenzahl. Manche Fischarten sind ständig in Bewegung, andere liegen fast den ganzen Tag über reglos am Grund. Lebensraum der Fische ist das Wasser, an ihn sind sie perfekt angepasst (Abb. 09). Was einige Arten aber nicht davon abhält, gelegentlich auch Ausflüge an Land zu unternehmen. Sehr viele Fische haben einen stromlinienförmigen glatten Körper, der wenig Widerstand beim Schwimmen bietet. Es gibt aber auch Arten mit plumpen Körpern, bizarren Körperanhängen sowie Stacheln und Dornen. Kiemen sind zwar das wichtigste Atemorgan der Fische. Manche Arten besitzen aber zusätzliche Atemorgane, mit denen sie Sauerstoff aus der Luft aufnehmen können.

Wer einen Fisch eindeutig beschreiben will, muss deshalb mehrere Merkmale heranziehen, denn ein Kennzeichen allein reicht dafür nicht aus. Ein grundlegendes und sehr wichtiges Merkmal ist der Besitz einer Wirbelsäule. Fische gehören zu den Wirbeltieren und weisen somit auch alle Merkmale auf, die für diese Tiergruppe charakteristisch sind. Zum Beispiel einen differenzierten Schädel, der am vorderen Ende der Wirbelsäule sitzt. Das Nervensystem ist hoch entwickelt wie auch die Sinnesorgane. Fische können sehen, riechen, schmecken und besitzen einen ausgeprägten Tastsinn, einige Arten haben zudem ein gutes Hörvermögen. Ihre Verdauungs-, Ausscheidungs- und Geschlechtsorgane sind ähnlich komplex aufgebaut wie bei fast allen Wirbeltieren. Ihr Blut zirkuliert, angetrieben von einem

Abb. 07. In den 1970er Jahren kam der stilisierte Fisch erneut als Symbol für christliche Gesinnung auf. Trotz der radikalen Vereinfachung ist der Fisch ganz eindeutig zu erkennen.





Abb. 08. Diese asiatische Fischart weist alle Merkmale auf, die für das Erscheinungsbild eines typischen Fisches kennzeichnend sind.

einfach gestalteten Herz, in einem geschlossenen System aus großen und kapillaren Blutgefäßen. Ihre Haut ist wirbeltiertypisch mehrschichtig aufgebaut. Fische sind sogenannte wechselwarme Tiere, die ihre Körpertemperatur nicht regulieren und konstant halten können. Bei diesen Tieren folgt und entspricht die Körpertemperatur stets annähernd der Temperatur ihrer Umgebung. Das hat sowohl Vor- als auch Nachteile. Einerseits sparen sie dadurch jene Energie, die zur Aufrechterhaltung einer konstanten Körpertemperatur notwendig wäre. Andererseits büßen sie dadurch aber an Leistungsfähigkeit ein, sobald die Umgebungstemperatur vom Optimum der jeweiligen Art abweicht.

Diese Merkmale kennzeichnen aber nicht nur Fische, sondern auch andere Wirbeltiere, etwa Amphibien und Reptilien. Typische Besonderheiten, die allein oder zumindest überwiegend für Fische kennzeichnend sind, stehen fast immer im Zusammenhang mit Anpassungen und Spezialisierungen, die diesen Tieren den dauernden Aufenthalt im Wasser ermöglicht haben, gewissermaßen Ausdruck ihrer Evolutionsgeschichte im Wasser sind.

Ganz weit oben im Ranking stehen dabei die Kiemen, die als Hauptatmorgane der Fische anzusehen sind. Obwohl auch andere Wassertiere mit Kiemen atmen, zum

Beispiel Krebse, Tintenfische oder Muscheln, werden sie vor allem als Merkmal der Fische wahrgenommen. Tatsächlich besitzen nahezu alle Fischarten gut ausgebildete Kiemen, die auf beiden Seiten am hinteren Ende des Kopfes auf bogenförmig angeordneten Skelettelementen sitzen und von knöchernen Kiemendeckeln geschützt werden. Eine weitere wichtige Anpassung an das Wasserleben, die oft als fischtypisches Merkmal angesehen wird, sind die Flossen der Tiere. Strenggenommen gilt das aber nur für die „unpaarigen“ Rücken-, Schwanz- und Afterflossen, die alle in Richtung der Körperlängsachse stehen und zur Fortbewegung und Stabilisierung des Körpers im Wasser dienen. Während die paarigen Brust- und Bauchflossen gleichsam als Pendant zu den Armen und Beinen der anderen Wirbeltiere angesehen werden können, gibt es unpaarige Flossen in dieser Form ausschließlich bei Fischen.

Das gilt auch für die Schmelz- und Knochenschuppen, die den Körper sehr vieler Fischarten bedecken. Die Schuppen der höheren Fische sind Bildungen der Lederhaut (Corium), die die darüber befindliche Epidermis aufstülpen und sich dachziegelartig übereinanderlegen. Durch diese Anordnung bieten sie den Tieren einen soliden mechanischen Schutz und ermöglichen ihnen gleichzeitig maximale Beweglichkeit. Größe, Anzahl so-



Abb. 09. Diese Farbkarpfen in den Teichen des Kaiserpalastes in Hue (Vietnam) drängen sich beim Betteln um Futter so dicht aneinander, dass einzelne Tiere sogar aus dem Wasser herausgehoben werden können.

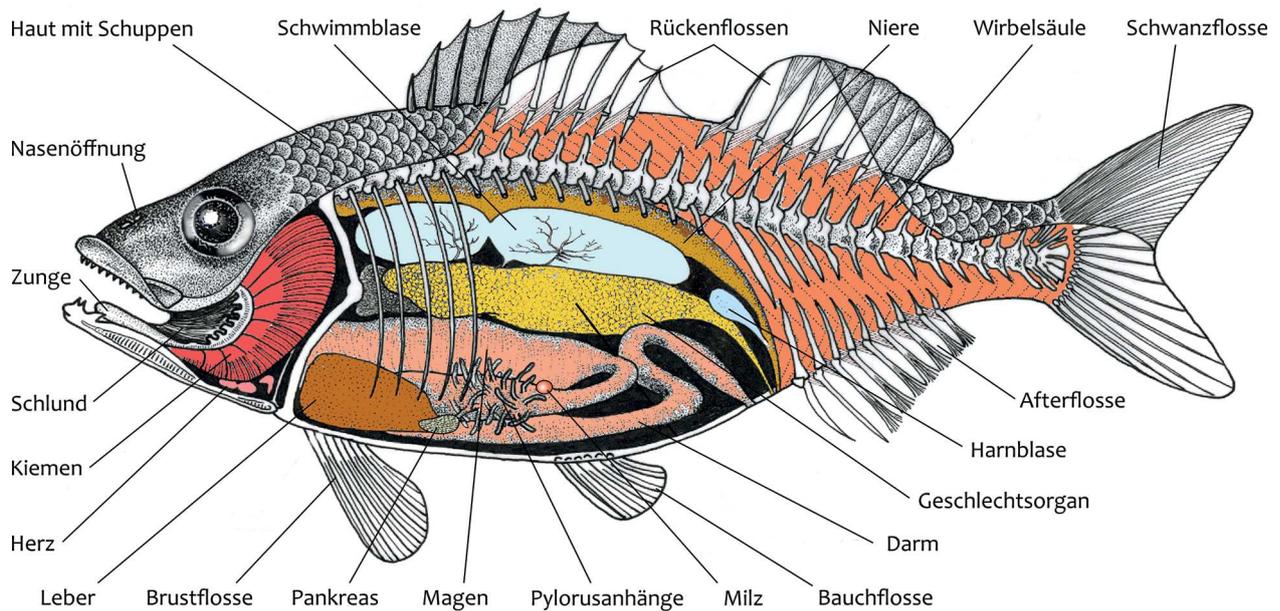


Abb. 10. Typische innere und äußere Merkmale eines Knochentisches.

wie das Anordnungsmuster der Schuppen können von Art zu Art verschieden sein. Obwohl viele Fischarten überhaupt keine Schuppen besitzen, gelten sie als typisches Merkmal der Fische, weil derartige Bildungen der Haut bei keiner anderen Tiergruppe vorkommen. Das trifft auch auf die Schwimmbläse zu, ein spezielles Organ, das es so nur bei Fischen gibt. Sie dient hauptsächlich dazu, das spezifische Gewicht der Tiere zu verringern und ihren Auftrieb zu verstärken. Dadurch ist der Fisch in der Lage, mit geringem Energieaufwand im Wasser zu schweben. Schwimmbläsen gibt es in zahlreichen Formen und Varianten, einige haben noch zusätzliche Funktionen und dienen zum Beispiel zur Lauterzeugung oder als Schallrezeptor, also zum Hören. Obwohl längst nicht alle Fischarten eine Schwimmbläse besitzen, ist auch sie als ein fischtypisches Merkmal anzusehen.

Kiemen, Flossen, Schuppen und Schwimmbläse bringt wohl jeder sofort in Zusammenhang mit Fischen.

Darüber hinaus gibt es jedoch noch ein biologisches Merkmal, das viel weniger bekannt ist. Die überwiegende Mehrzahl der Fische besitzt nämlich keine „Choanen“, das sind jene Verbindungsgänge zwischen den Nasenöffnungen und der Mundhöhle, die es den Landwirbeltieren erlauben, durch die Nase zu atmen. Unter den Fischen haben aber nur die Fleischflossler (Sarcopterygii), zu denen die Lungenfische und der Quastenflossler *Latimeria chalumnae* gehören, einen solchen Nasengang.

Eine allgemeine Beschreibung der Fische könnte somit folgendermaßen aussehen: Fische sind wechselwarme Wirbeltiere, die im Wasser leben, mit Kiemen atmen und mit Flossen, Schuppen und Schwimmbläsen ausgestattet sind, aber keine Choanen besitzen. Nicht jeder Fisch erfüllt zwar alle Punkte gleichermaßen, weil es viele Abweichungen und Ausnahmen gibt, doch im Kern sind damit die wesentlichen Merkmale und Besonderheiten dargestellt.

3 Am Anfang war der Fisch

Als die Frühformen des Menschen in den ostafrikanischen Savannen vor 5 Millionen Jahren gerade begannen, sich aufzurichten und auf zwei Beinen zu laufen, hatten die Fische schon viele Millionen Jahre erfolgreicher Entwicklungsgeschichte hinter sich. Die ältesten Fossilien der Vorfahren unserer Fische stammen aus Sedimentschichten, die annähernd 500 Millionen Jahre alt sind. Vermutlich lagen die Tiere, deren Aussehen damals nur entfernt an heutige Fische erinnerte, die meiste Zeit des Tages auf dem Grund der Gewässer herum. Ihr Körper steckte wie bei Schildkröten in einer Knochenkapsel, die zwar Schutz bot, sie aber auch relativ schwer und unbeweglich machte. Für Paläontologen sind die Verknöcherungen ein Glücksfall, denn dadurch konnten sich besonders viele Fossilien aus jenen Zeiten bis heute erhalten. Diese Funde belegen, dass die Panzerfische zur Blütezeit im Silur vor 500 bis 395 Millionen Jahren in großer Zahl die Gewässer bevölkerten. Die meisten Formen waren sehr klein, selbst die größten unter ihnen maßen kaum mehr als einen halben Meter. Außerdem besaßen die Urahnen der heutigen Fische noch keine Ober- und Unterkiefer, ihr Mund ließ sich nur wie die Irisblende einer Kamera öffnen oder schließen. Darum werden diese frühen Fischformen von Biologen auch der Gruppe der Kieferlosen (Agnatha) zugeordnet. Das Fehlen funktionsfähiger Kiefer schränkte die Möglichkeiten zur Nahrungsaufnahme natürlich stark ein, die gepanzerten Zwerge konnten weder kräftig zubeißen noch nach beweglicher Beute schnappen. Dafür bedienten die Agnatha sich aber einer speziellen Fresstechnik, die an einen Staubsauger erinnert. Sie vermochten ihren Schlund schlagartig zu erweitern und erzeugten durch den entstehenden Unterdruck einen Sog vor der Mundöffnung, der ihnen kleine Nahrungspartikel in den Verdauungstrakt strudelte.

Eine ungefähre Vorstellung von diesen merkwürdigen Urzeitwesen ohne Kiefer ermöglichen uns die Inger oder Schleimaale (Myxiniiformes) sowie die Neunaugen (Petromyzontiformes), von denen etwa 100 Arten rund 400 Millionen Jahre Entwicklungsgeschichte bis in heutige Zeit überdauert haben (vgl. Abb. 06). Die wurmförmigen Tiere mit der schleimigen Haut gelten als Nachfahren der Agnatha, obwohl ihr Äußeres kaum an die einstigen urtümlich gepanzerten Formen aus dem Paläozoikum erinnert. Doch die separaten lochförmigen Kiemenöffnungen, die unpaarige Nasengrube und der

kieferlose Mund sind eindeutige und handfeste Indizien für ihren geschichtlichen Ursprung. Sowohl Schleimaale als auch Neunaugen ernähren sich vornehmlich parasitisch von kranken, verletzten oder toten Fische. Sie saugen sich mit dem runden Saugscheiben-Mund (darum werden sie auch Rundmäuler genannt) an ihren Opfern fest, um deren Fleisch und Blut zu fressen.

Die Dimensionen entwicklungsgeschichtlicher Prozessabläufe, die oft viele Millionen Jahre dauern, übersteigen die menschliche Vorstellungskraft. Zeitspannen von ein, zehn oder gar hundert Millionen Jahre sind wahrscheinlich für niemanden begreiflich. Um wenigstens eine ungefähre Vorstellung von diesen enormen Zeiträumen zu bekommen, hat der Paläontologe Heinrich Karl Erben ein einfaches Modell entwickelt, das die bisherige Erdgeschichte in den Zeitrahmen eines einzigen Jahres presst. Danach begann die Erdgeschichte am 1. Januar mit der Entstehung der ältesten bekannten Gesteinsformationen. Anfang Mai entstand das Leben in seiner ursprünglichsten Form und zu Beginn des Oktobers waren erstmals tierische Einzeller vom Typus eines Pantoffeltierchens nachweisbar. Am 29. November tauchten zum ersten Mal fischähnliche Organismen auf, die zugleich auch den Beginn der Entwicklung der Wirbeltiere markieren. Mitte Dezember bevölkerten die Fische bereits in großer Vielfalt die Gewässer. Und wo siedelt Erben in seinem Modell die Geschichte des Menschen an? Höher entwickelte Säugetiere, die weitgehend heutigen Formen gleichen, begegnen uns erst ab dem 27. Dezember. In der Nacht auf den 31. Dezember trennt sich eine Entwicklungslinie ab, die zu den Hominiden führt. Erst 27 Minuten vor Mitternacht begegnet uns Homo sapiens in seiner Frühform. Die letzten 39 Sekunden vor dem Ende des Modelljahres repräsentieren die jüngere 6.000-jährige Geschichte des Menschen. Zum Vergleich: die Cheops-Pyramide in Ägypten wurde vor rund 4.500 Jahren erbaut. Auch Erbens Modell hat gewisse Ecken und Kanten, doch es macht recht einprägsam deutlich, wie weit die Entwicklungsgeschichte der Fische – verglichen mit uns Menschen – zurückreicht.

Spätestens im unteren Silur vor annähernd 430 Millionen Jahren bekamen die kieferlosen Urahnen der Fische jedoch starke Konkurrenz, denn aus diesem Erdzeitalter stammen die ältesten bekannten fossilen Funde eines neuen Fischtyps, der bereits echte Kieferknochen besaß. Die sogenannten Kiefermäuler (Gnathostomata)

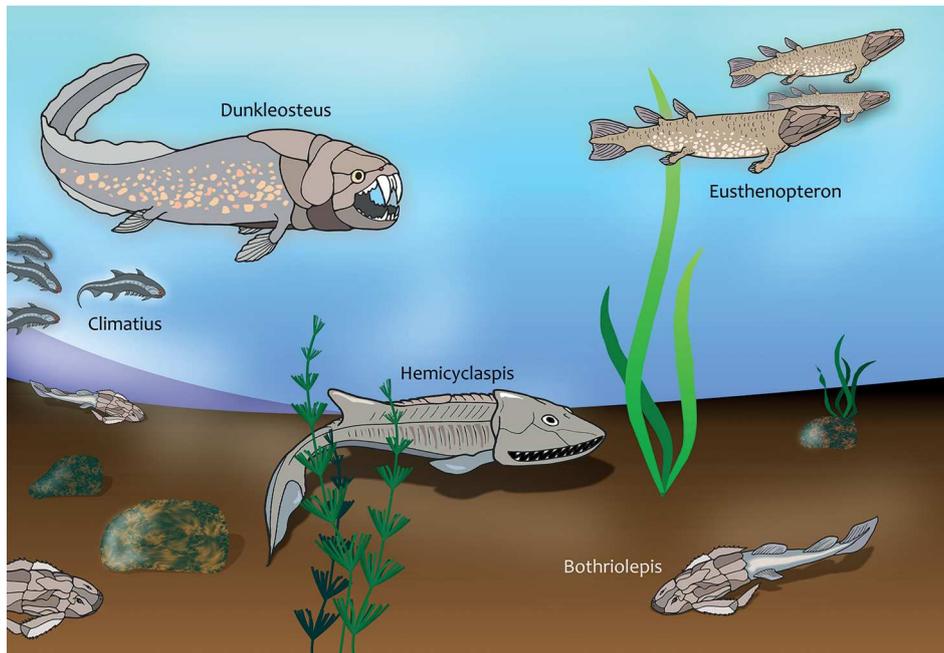


Abb. 11. Im Devon bevölkerten noch die Vorfahren unserer heutigen Fische die Gewässer. Zur Gattung *Dunkleosteus* gehörten einige der größten Arten der Placodermi, die 6 m Länge und mehr erreichten. Obwohl sie räuberisch lebten, sind die mächtigen Zähne wohl ein Fantasieprodukt, denn viele hatten nur vier scharfkantige Knochenplatten zum Festhalten der Beute. *Eusthenopteron* war ein Fleischflosser, der sowohl Kiemen als auch eine Lunge besaß. Man vermutet, dass die Tiere mit ihrem kräftigen Flossenskelett auch schon kurze Landgänge unternahmen. *Climatius* gehört zu Kieferkiemern (*Acanthodii*) und gilt als eine frühe Form der späteren Haie. *Hemicyclaspis* repräsentiert die primitiven Kieferlosen, deren Ära sich im Devon bereits ihrem Ende zuneigt. Die Panzerfisch-Gattung *Bothriolepis* umfasst mehr als 100 Arten, von denen die meisten kaum größer als 30 cm wurden. Fossilien belegen, dass sie sich sowohl im Süßwasser als auch im Meer aufhielten. Manche Forscher glauben deshalb, dass die *Bothriolepis*-Arten wie heute die Lachse hauptsächlich im Meer lebten, zur Fortpflanzung jedoch ins Süßwasser wanderten.

waren meist kleine bis mittelgroße Tiere, die sowohl im Süßwasser als auch in den Ozeanen lebten. Die „Erfindung“ der Kiefer, die aus den ersten Kiemenbögen hervorgegangen sind, war ein Geniestreich der Evolution, denn dadurch eröffneten sich den Tieren völlig neue Möglichkeiten zur Nahrungsaufnahme. Fossile Funde lassen erahnen, dass die Anzahl der Kiefermaul-Arten in jener Zeit drastisch anstieg. Im Devon, das auch als Zeitalter der Fische bezeichnet wird, beherrschten zwei primitive Gruppen von Kiefermäulern die Gewässer, die Kieferkiemer (*Acanthodii*) und die Panzerfische (Placodermi). Obwohl die Vertreter beider Gruppen noch mehrere urtümliche Merkmale aufwiesen, kamen sie im Aussehen den heutigen modernen Fischen schon näher als die frühen Formen der Kieferlosen.

Die Panzerfische, deren Blütezeit vom Devon bis in das untere Karbon währte, hatten einen stark gepanzerten Kopf und Vorderkörper, der Hinterkörper war nackt oder mit knöchernen Schuppen bedeckt. Anstelle der Brustflossen besaßen sie armartige Anhänge oder Dornen, einige Vertreter der Panzerfische atmeten sogar mit Lungen. Entwicklungsgeschichtlich ist das ein sehr wichtiger Befund, weil er beweist, dass die Lunge als Atemorgan nicht aus der Schwimmblase hervor-

gegangen sein kann, denn diese taucht im Evolutionsverlauf erst viel später auf. Bei den Kieferkiemern, die entwicklungsgeschichtlich noch einige Millionen Jahre älter sind als die Panzerfische, fallen insbesondere die haiartige Körpergestalt sowie die mit kräftigen Stacheln ausgestatteten Flossen auf. Der Schädelpanzer bestand teilweise bereits aus dünnen Knochen, was die Tiere leichter und schwimmfähiger machte. Trotzdem waren sie Fraßräubern gegenüber nicht wehrlos, denn zwei Reihen spitzer Stacheln zwischen den Brust- und Bauchflossen boten zusätzlich Schutz. Bei einigen Arten bedeckten sogar schon primitive Knochendeckel die Kiemen. Mosaikartig angeordnete Knochenplättchen, deren obere Schicht aus einer zahnschmelzartig harten Substanz (Ganoin) bestand, überzogen die Körper der Urfische. Wie das Kettenhemd eines Ritters bot dieses Schuppenkleid aber nicht nur Schutz, sondern war zugleich flexibel, was den Kieferkiemern eine hohe Beweglichkeit ermöglichte. Bislang wurde noch keine direkte evolutive Linie nachgewiesen, die von den Kieferkiemern zu den heutigen Knorpel- und Knochenfischen führt. Etliche Paläontologen glauben jedoch, dass die *Acanthodii* den frühen Fischformen sehr nahe standen, aus denen die heute lebenden modernen Fischarten hervorgingen.

Abb. 12. Der Erhaltungszustand von Fossilien hängt von vielen Faktoren und Zufällen ab. Obwohl oft nur die harten Skelettstrukturen erhalten geblieben sind, können Paläontologen in den Überbleibseln viele wichtige Details erkennen und daraus neue Erkenntnisse gewinnen.



Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass unser Wissen über die Evolution der Fische trotz mancher wichtigen Erkenntnisse immer noch große Lücken aufweist. Entwicklungsgeschichtliche Abläufe, die vor Jahrmillionen stattfanden, lassen sich heute oftmals nur anhand von Fossilienfunden rekonstruieren. Viele Fischarten, die einst die Gewässer bevölkerten, sind längst wieder ausgestorben. Nicht wenige Wissenschaftler glauben sogar, dass die Anzahl der ausgestorbenen Fischarten um ein Vielfaches höher ist, als alle heute lebenden Fischarten zusammengenommen. Die Rekonstruktion der damaligen Abläufe ist schwierig, weil es aus manchen Gegenden, Erdzeitaltern und Entwicklungslinien nur wenige Fossilien gibt. Vieles ist unvollständig und die Überbleibsel lassen sich oft schwer zuordnen. Manches wurde vielleicht noch gar nicht entdeckt oder ist in fossiler Form nicht erhalten geblieben. Darum sind die zahlreichen Fossilienfunde stark gepanzerter Tiere aus dem Paläozoikum auch überhaupt kein Beweis dafür, dass es zu jener Zeit keine anderen Fischformen gab. Vielleicht hatten die Panzerfische einfach nur bessere Chancen, in fossiler Form die Zeiten zu überstehen. Die Nachbildung evolutiver Entwicklungslinien aufgrund von fossilen Fragmenten ist stets mit gewissen Unsicherheiten verbunden. Wir wissen heute, dass bestimmte Formen nicht „plötzlich“ und ohne entsprechende Vorfahren „out of the blue“ entstehen können. Trotzdem gibt es am Stammbaum der Fische immer noch viele Äste und Verzweigungen, die scheinbar im „Nirgendwo“ entspringen und Millionen Jahre später wieder verschwinden, nur weil uns die verbindenden Formen dazwischen noch unbekannt sind, weil fossile Funde aus jenen Zeiten fehlen oder weil die Generationskette irgendwann abbricht und keine Nachfahren bis heute überdauerten.

3.1 Viele Fragen bleiben offen

Im Zusammenhang mit der Entwicklungsgeschichte der Fische sind viele Fragen noch offen, Hypothesen und Vermutungen ersetzen häufig fundierte Beweise. Ein Streitpunkt unter den Paläontologen ist zum Beispiel, ob

die Entstehung der Fische im Süßwasser oder im Meer begann. Die eine Fraktion ist davon überzeugt, dass die Frühformen der Fische zunächst im Süßwasser lebten und erst im Devon in die Meere vordrangen. Als Beweis werden häufig Fossilien der Ostracodermata herangezogen, ausgestorbenen kieferlosen Fischen, die im Devon sowohl im Süß- als auch im Salzwasser vorkamen. Die Panzerung ihres Körpers habe die Tiere nicht nur vor Fressfeinden geschützt, sondern sei auch eine „osmotische Barriere“ gewesen, die den Wechsel vom Süß- ins Salzwasser erleichtert habe. Das trifft aber auch umgekehrt zu und darum nutzt die andere Gruppe, die das Meer als Ursprungsort der Fische vermutet, genau das gleiche Argument. Sie erinnert zudem daran, dass im Meerwasser fast alle Salze in wässriger Lösung nachweisbar sind, die man auch in den Körperzellen findet. Das sei ein deutlicher Hinweis darauf, dass die Evolution der Fische im Meer begann. Nach dieser Theorie drangen Fische erst ab dem Silur vor annähernd 395 Millionen Jahren ins Süßwasser der Seen und Flüsse vor, als sie semipermeable Zellmembranen und spezielle Regulationsmechanismen entwickelt hatten, die es ihnen ermöglichten, die Aufnahme von Salzen gezielt zu steuern und das überschüssige Wasser aktiv aus dem Körper ausscheiden zu können.

Manche Erkenntnisse, die an Fossilien gewonnen wurden, werfen jedoch beliebte Vorurteile und verbreitete Annahmen über den Haufen. Durch Fossilienfunde ließ sich zum Beispiel beweisen, dass es schon Lungen gab, lange bevor die ersten Schwimmblasen auftauchten. Entwicklungsgeschichtlich ist die Lunge also nicht aus der Schwimmblase hervorgegangen. Ebenso unhaltbar ist auch die These, der Knorpel sei ein primitives Merkmal, aus dem sich später die Knochen entwickelt haben. Fossilienfunde beweisen, dass Knochenstrukturen im Evolutionsverlauf wesentlich früher als der Knorpel „da“ waren. Bei den Thelodontida, einer Gruppe der Agnatha, wurde das knöcherne Skelett im Verlaufe vieler Millionen Jahre sogar durch Knorpelstrukturen ersetzt. Fossilienfunde widerlegen auch die Vermutung, dass die Haie und Rochen mit ihrem knorpeligen Skelett lange vor den Knochenfischen entstanden. Die ältesten Haifossilien

Die beiden großen Entwicklungslinien von Knochenfischen (Osteichthyes), die Muskel- oder Fleischflosser (Sarcopterygii) sowie die Strahlenflosser (Actinopterygii).

Fleischflosser (Sarcopterygii)	Strahlenflosser (Actinopterygii)
Das Skelett der paarigen Flossen (Brust- und Bauchflossen) besteht aus einer zentralen, manchmal gegliederten Achse, von der zu beiden Seiten Skelettstäbe abgehen, die das Flossenblatt stützen.	Das Skelett der paarigen Flossen besteht aus ungefähr gleich großen, parallel nebeneinander angeordneten kurzen Knochenstäbchen (Radialia), die meist direkt am Schulter- oder Beckengürtel ansetzen.
Die Flossenbasis kann als armartiger, muskulöser Stumpf ausgebildet sein, wie man es vom Quastenflosser kennt.	Darauf sitzen außen knöcherne Flossenstrahlen, die die Flossen stützen.
Bis auf wenige Ausnahmen ist die Nase über einen Verbindungsgang (Choane) mit der Mundhöhle verbunden.	Die Muskulatur der Flossen beschränkt sich ausschließlich auf die Flossenbasis. Eine Choane fehlt.
Typische Vertreter der Sarcopterygii sind die Lungenfische und der Quastenflosser.	Strahlenflosser, zu denen 99% aller modernen Knochenfischarten gehören, stellen die artenreichste Gruppe der Wirbeltiere dar.

en sind rund 360 Millionen Jahre alt, stammen also aus dem mittleren Devon. Aus der gleichen Zeit gibt es aber auch zahlreiche Funde von Knochenfischen, was vermuten lässt, dass beide Entwicklungslinien, also Knorpel- und Knochenfische, ungefähr zur gleichen Zeit entstanden sind.

Die ältesten Fossilien von Vorfahren der Haie und Rochen wurden in Sedimentschichten aus dem mittleren Devon gefunden. Sie besaßen bewegliche Kiefer und ein knorpeliges Skelett, das wahrscheinlich sekundär aus knöchernen Elementen entstanden ist. Etwa zu Be-

ginn der Kreidezeit vor 140 Millionen Jahren, als die Dinosaurier ausstarben, traten erstmals Haie und Rochen in der Gestalt auf, wie wir sie heute kennen. Neben den derzeit etwa 650 bekannten Hai- und Rochenarten gibt es jedoch noch eine Entwicklungslinie bei den Knorpelfischen, die vom Karbon bis in die heutige Zeit überdauert hat. Zu dieser Gruppe, den Seedrachen oder Chimären (Holocephali), gehören ungefähr 30 Arten.

Wie bei Haien und Rochen stammen auch die ältesten Fossilienfunde von Knochenfischen (Osteichthyes) aus dem mittleren Devon. Wahrscheinlich sind die Kno-

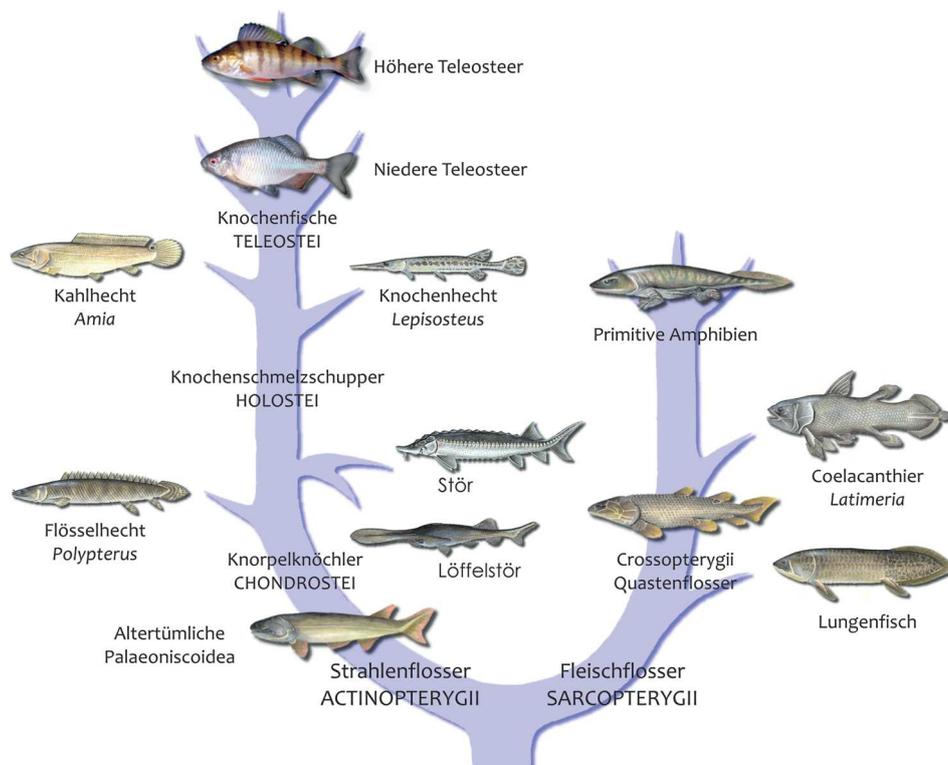


Abb. 13. Stammbaum der Fische. Der rechte Ast (Fleischflosser) zeigt, dass der Quastenflosser ein Seitenzweig der Evolution war und nicht als direkter Vorfahre der Landwirbeltiere anzusehen ist. Der linke Ast (Strahlenflosser) führt zu den Knochenfischen im engeren Sinne (Teleostei).

Wissen kompakt 2

Wie lange dauert die Entstehung neuer Arten? Evolution im Eiltempo

Evolutionäre Prozesse erfordern meist Zeiträume von einigen Zehntausend oder sogar Millionen Jahren. Die Evolution einiger Buntbarscharten (Cichlidae) in Ostafrikanischen Seen scheint jedoch wesentlich schneller abgelaufen zu sein.

Im Victoriasee leben mehr als 200 Cichlidenarten, von denen jede eine spezielle ökologische Nische besetzt. Mit molekularbiologischen Methoden konnte nachgewiesen werden, dass die Buntbarschfauna des Sees aus einer einzigen Stammform entstanden ist.

Bislang ging man bei der Artentstehung davon aus, dass der Wasserstand des Victoriasees während der letzten Eiszeit sehr niedrig war, wodurch die Buntbarsche in zahllosen Tümpeln voneinander isoliert wurden und sich spezialisiert haben. Neue geologische Untersuchungen lassen jedoch vermuten, dass der See vor 12.000 Jahren vorübergehend sogar vollständig ausgetrocknet war. Somit muss die Vielfalt der Cichlidenarten nach der Neubesiedlung des Sees in einer wesentlich kürzeren Zeitspanne entstanden sein.

Noch weniger Zeit für die Aufspaltung der Buntbarscharten stand offenbar im benachbarten Malawisee zur Verfügung. Hier leben mehr als 500 Cichlidenarten, von denen vor allem der Mbuna-Komplex, der rund 200 Arten umfasst, das Interesse der Evolutionsforscher erregt.

Mbuna ist der afrikanische Name für mehrere Buntbarschgattungen, die alle im Uferbereich des Malawisees an Felsen leben. Die Felsbereiche sind strikt voneinander isoliert, weil die Mbuna-Arten die dazwischen liegenden freien Wasserbereiche meiden. Durch geologische Datierungen, archäologische Befunde, historische Quellen und mündliche Überlieferungen ließ sich beweisen, dass die Felsbiotope vor 200 Jahren noch gar nicht existierten, weil die Uferzonen des Sees damals trocken lagen. Deshalb vermuten die Evolutionsforscher, dass die artenreiche Mbuna-Fauna erst in den letzten 200 Jahren entstanden ist. Jetzt suchen sie nach Erklärungen dafür, warum gerade bei den Buntbarschen so schnell neue Arten entstehen können. Andere Fischgruppen in den untersuchten Gewässern, etwa Welse oder Cypriniden, evolvieren nämlich mit „normaler“ Geschwindigkeit (Fehrer 1997).

chenfische sogar noch einige Millionen Jahre früher entstanden, denn im Devon hatten sie sich bereits voll entfaltet und offenbaren eine beeindruckende Vielfalt an Arten und Entwicklungslinien. Bedeutsam ist dabei vor allem, dass die beiden großen Entwicklungslinien, die Muskel- oder Fleischflosser (Sarcopterygii) sowie die Strahlenflosser (Actinopterygii), gleichzeitig auftraten.

Strahlenflosser sind die erfolgreichste Gruppe der Knochenfische, bereits im Devon waren mindestens 1.000 verschiedene Gattungen nachzuweisen. Besonders bemerkenswert ist der Befund, dass im Evolutionsverlauf nahezu alle wichtigen Gruppen gleichzeitig auftraten:

- die Knorpelknöchler oder Knorpelganoiden (Chondrostei), die heute durch die Störe vertreten werden,
- die Knochenschmelzschupper oder Knochenganoiden (Holostei), zu denen unter anderem Kahlhechte (*Amia*) und Knochenhechte (*Lepisosteus*) gehören,
- sowie die Gruppe der „echten“ Knochenfische (Teleostei).

Die Strahlenflosser entwickelten sich im Verlauf der Evolution außerordentlich erfolgreich. In der Kreidezeit nahm die Artenzahl sprunghaft zu. Heute beherrschen die Strahlenflosser die Meere und Festlandsgewässer und sind die artenreichste Gruppe der Wirbeltiere über-

haupt. Am Beginn dieser evolutiven Entwicklungslinie stand die Ordnung Palaeonisciformes, deren meist heringsgroße Arten ab dem unteren Devon auftraten und hauptsächlich im Süßwasser lebten. Ihr weites Maul mit den spitzen Zähnen sowie die weit vorn stehenden großen Augen sind deutliche Hinweise darauf, dass die Palaeonisciformes sich räuberisch ernährten. Ihr Körperbau wies noch zahlreiche ursprüngliche Merkmale auf. Etwa einen primitiv gebauten Schädel (die Wangenknochen waren zusammengewachsen), eine haiartige heterocerke Schwanzflosse (die Wirbelsäule reicht fast bis in die Spitze des oberen Flossenteils) sowie Ganoidschuppen, die den Körper mosaikartig bedecken. Ihre Brustflossen wurden noch von ungewöhnlich vielen Strahlen gestützt und hatten an der Verbindungsstelle zum Körper eine auffallend breite Basis. In ihrer Blütezeit umfasste die Ordnung Palaeonisciformes gut 80 Gattungen, gegen Ende der Kreidezeit vor gut 100 Millionen Jahren starb diese urtümliche Fischgruppe jedoch wieder aus. Aussehen und Entwicklung einzelner Arten können heute nur noch aufgrund von Fossilienfunden rekonstruiert werden.

Gemeinsam mit 120 Gattungen weiterer Ordnungen bildeten die Palaeonisciformes die Gruppe der Knorpelknöchler (Chondrostei), die gewissermaßen den Beginn

Abb. 14. Ur-Strahlenflosser vom Palaeonisciformes-Typus. Die Vertreter dieser ausgestorbenen Ordnung gehörten wie die Störartigen (Acipenseriformes) zur Gruppe der Knorpelknöchler (Chondrostei).

