

#### **4. Vergleichende Anatomie und Physiologie von Versuchstieren**

Um die Anforderung an eine tiergerechte Haltung von Versuchstieren und ein tierexperimentelles Vorgehen fundiert beurteilen zu können, müssen die Eigenheiten im Bauplan (Morphologie, Anatomie), Physiologie und Verhalten des Versuchstiers bekannt sein. Zudem ist es bei der Prüfung der Eignung einer Versuchstierspezies für ein spezielles Versuchsvorhaben wichtig, die artspezifischen anatomischen und physiologischen Gegebenheiten als Auswahlkriterium zu nutzen. So eignet sich beispielsweise zur Analyse der Mechanismen des Farbsehens von Vertebraten der Goldfisch, ein Vertreter der Knochenfische, auf Grund seines Sinneszellrepertoire im Auge besser als die Labornager, Ratte und Maus, die uns Altweltprimaten aus phylogenetischer Sicht wesentlich näher stehen. Allerdings ist es häufig dem breiter ausgebildeten Zoologen vorbehalten, aus der großen Biodiversität tierischer Organismen die für spezielle Vorhaben geeignete Spezies auszuwählen.

Ein übergreifender Vergleich zwischen den Tiergruppen soll den Veranstaltungen der „Speziellen Zoologie“ vorbehalten bleiben. Da das Tierschutzgesetz bekanntlich nur - mit Ausnahme der Tintenfische (Cephalopoden) und Krebse (Dekapoden) – für Wirbeltiere (Vertebrata) Anwendung findet, möchte ich mich hier auch auf Wirbeltiere beschränken und dabei die Eigenheiten der Baupläne gängiger Versuchstiere aufgreifen.

##### **4.1 Zentralnervensystem (ZNS)**

Das Zentralnervensystem (ZNS) umfaßt bei Vertebraten Rückenmark und Gehirn. Das Gehirn ist bei den höheren Wirbeltieren – Vögeln und Säugern – zu einem leistungsstarken Datenprozessor evoluiert. Von ihm werden alle intrinsischen Körperfunktionen am Laufen gehalten und zudem werden vom ihm komplexe Verhaltensweisen gesteuert.

Das Gehirn der Wirbeltiere setzt sich aus 5 Teilen zusammen: Telencephalon (Großhirn) und Diencephalon (Zwischenhirn), die zusammen das Vorderhirn bilden, dem Mes- (Mittelhirn) sowie dem Met- (Hinterhirn) und dem Myelencephalon (Nachhirn), das sich in das Rückenmark fortsetzt. Met- und Myelencephalon können als das Rhombencephalon (Rautenhirn) zusammengefasst werden. Während der Wirbeltierevolution sind folgende Trends der Gehirndifferenzierung deutlich erkennbar. Bei ektothermen (= poikilotherme, „wechselwarme“) Tieren – Fischen, Amphibien und Reptilien (rezent) – ist das Gehirnvolumen mit dem Körpergewicht der Tiere korreliert, wohingegen bei den phylogenetisch progressiveren endothermen (= homoitherme, „gleichwarme“) Wirbeltiere, den Vögeln und Säugern, das Gehirn im Bezug auf das Körpergewicht maßgeblich vergrößert ist. Dabei nimmt auch die Segmentierung des Gehirns zu und damit entstehen auch weitere funktionelle Gehirnkompimente. Während der Phylogenie der Vertebraten differenziert sich das Dach des

Metencephalon zum Cerebellum (Kleinhirn), dem primären Zentrum zur Koordination von Bewegungen. Im Bereich des Diencephalons werden bei dieser Umgestaltung die beiden integrierenden Zentren Thalamus und Hypothalamus herausgebildet und im Telencephalon differenziert sich die Großhirnrinde (Cortex) heraus, die für höhere Gehirnfunktionen, beispielsweise für das Lernen und das Gedächtnis, zuständig wird. Während der Cortex primitiver Säugetieren (z. B. Insektivoren, Nagetiere, Hasenartige) noch eine glatte Oberfläche aufweist (lissencephales Säugetier-Gehirn) nimmt mit dem Auftreten von komplexeren Verhaltensweisen die Oberfläche des Cortex durch Einfaltungen enorm zu (gyrencephales Säugetier-Gehirn der höheren Säuger wie z. B. Raubtiere (Carnivora), Paarhufer (Artiodactyla), Unpaarhufer (Perissodactyla), Waale (Cetacea) und Primaten. Durch die Faltung können wesentlich mehr Neurone mit ihrem Zellkörper (Perikaryon) im Cortex Platz finden, was eine leistungsstärkere Prozessierung der Umweltinformationen und eine entsprechende Zunahme kognitiver Fähigkeiten erlaubt. Bei niederen Vertebraten, den Fischen, Amphibien und Reptilien ist das Telencephalon wenig differenziert, das ein angeborenes Instinktverhalten im Vordergrund steht, welches die Tiere in der Lage versetzt, auf primitive überlebenswichtige Umweltreize zu reagieren. Bei allen Säugetieren (ob lissencephal oder gyrencephal) ist das Telencephalon komplexer aufgebaut und es können z.B. Emotionen empfunden werden oder Affekt-geprägte Verhaltensweisen durchgeführt werden. Die Beeinflussung des Verhaltens durch Emotionen ermöglicht es den Säugetieren, wesentlich differenzierter auf Umweltreize zu reagieren als dies bei primitiveren Wirbeltieren der Fall ist. Dabei können im Gehirn der Säugetiere Zentren für die positive Emotion „Vorfreude“ sowie für die negativen Emotionen „Angst“, „Wut“ und „Einsamkeit“ unterschieden werden. Erst bei den progressiven Säugetieren treten kognitive Leistungen wie Selbstbewusstsein, Aufmerksamkeit, räumliche und zeitliche Orientierung, und abstraktes Denken auf. Die am höchsten ausgeprägten kognitiven Leistungen zeigen dabei die Primaten. Setzt man Körpergröße und Cortexoberfläche in Beziehung, so rangieren interessanterweise Delphine hinter den Primaten auf Rang 2. Die Relativgröße des Gehirns der Delphine lässt auf ein hohes Maß an Intelligenz der Tiere schließen, könnte jedoch auch dadurch bedingt sein, dass im Gehirn der Waale immer nur eine Gehirnhälfte aktiv ist. Das Gehirn des Menschen (*Homo sapiens sapiens*) zeigt den mit Abstand höchsten Differenzierungsgrad des Cortex auf und ermöglicht einzigartige kognitive Leistungen, die ihm eine komplexe Sprache ermöglicht.

## 4.2 Sinnesleistungen und Sinnesorgane

Mittels vielgestaltiger Sinnesorgane nehmen Tiere Informationen über Umweltbedingungen auf, die dann nach der Transformation und Verstärkung des Signals in der Sinneszelle in die körpereigene elektrische Kodierung weitergeleitet wird, um im Zentralnervensystem (in der Regel im Gehirn) ausgewertet bzw. vom Tier wahrgenommen zu werden.

### 4.2.1 Physiologie des Riechens und Schmeckens - „chemische Sinn“

Der „chemische Sinn“ – wie man den Geschmacks- und Geruchssinn zusammenfaßt, weil beide an chemische Stoffe als Überträger gekoppelt sind - ist das älteste Sinnessystem der Tier. Der grundsätzliche Unterschied besteht zunächst darin, dass die zu analysierenden chemischen Stoffe in verschiedenen Medien gelöst vorliegen. Wasserlebende Organismen konnten zunächst im Wasser gelöste Substanzen über Sinneszellen direkt detektieren bzw. „schmecken“. Demgegenüber wurde nach dem Wasser-Land-Übergang die Luft das Medium, um Moleküle, Duftstoffe, zu übertragen und zu ihrer Detektion mußten spezielle Organe ausgebildet werden.

#### Geschmacksinn - Schmecken

Unter dem „Geschmack“ eines Stoffes versteht man in einer ganzheitlichen Betrachtungsweise die Summe aller Empfindungen, die bei der Nahrungsaufnahme im Mundraum entstehen. Neben den klassischen gustatorischen Stimulationen sind vor allem die olfaktorischen Empfindungen (~ 80%) sowie mechano-, thermo- und nociceptive Stimuli beteiligt. Die eigentlichen Geschmackssinnesorgane (= Geschmacksknospen) liegen bei höheren Landwirbeltieren ausschließlich in der Mundhöhle, während hingegen bei Fischen Geschmackssinnesorgane zusätzlich noch über die gesamte äußere Körperoberfläche verteilt lokalisiert sein können und manche Amphibien für Salzlösung und für Änderungen des pH-Wertes über ihre Haut sensibel sind. Bei Säugetieren sind die gustatorischen Sinneszellen (sekundäre Sinneszellen) in den Geschmacksknospen der Geschmackspapillen des Mundraumes vor allem auf der Zunge lokalisiert. Säuger können über diese Geschmacksknospen 4 Grundqualitäten, süß, sauer, salzig und bitter unterscheiden, die durch die Geschmacksrichtungen *umami* (japanisch = wohl schmeckend, Geschmacksverstärker Glutaminsäure) und alkalisch ergänzt werden. Die Geschmacksqualitäten sind über die Zungenoberfläche charakteristisch verteilt. Innerhalb der Wirbeltiere variiert die Anzahl der Geschmacksknospen beträchtlich. So besitzen Hühner und Tauben nur 20-40, Enten und Fledermäuse etwa 100, wohingegen der Mensch ca. 2.000 und Hasen, Rinder und Hunde bis zu 30.000 Geschmacksknospen besitzen.

## Geruchssinn -Riechen

In der weitgehend sprachlosen Welt der Tiere ist der Geruchssinn neben dem visuellen System das wichtigste Kommunikationsmittel. In der Nasenhöhle von Säugern sind die Riechrezeptorzellen neben Stütz- und Basalzellen (adulte Stammzellen für Regeneration der Riechrezeptorzellen) im Riechepithel, dem olfaktorischen Teil der Nasenschleimhaut, lokalisiert. Das gesamte Epithel ist mit einer Schleimschicht überdeckt, in die die sensorischen Cilien an den Riechköpfen der Sinnezellen hineinprojizieren. Duftmoleküle, die mit der Atemluft in die Nasenhöhle gelangen, müssen durch diesen Schleim hindurchdiffundieren, um auf die olfaktorischen Rezeptormoleküle (7-trans-Membran-Rezeptormoleküle) in der Cilienmembran zu gelangen und diese zu stimulieren. Als primäre Sinneszellen besitzen olfaktorische Rezeptorzellen ein Axon, das aus dem Riechepithel hinaus durch das Siebbein des Schädels hindurch zu den olfaktorischen Glomeruli des *Bulbus olfactorius* projizieren, wo die erste Verarbeitung der eingegangenen Reize erfolgt. Während die meisten Fische paarige Riechgruben besitzen, wird ein neuer Typ von Riechorgan im Übergang zum Landleben kreiert. Dabei werden äußeren Nasenöffnungen über einen Gang mit inneren Nasenöffnungen (= Choanen) im Dach der Mundhöhle verbunden, um eine Ventilation der Atemluft durch die Nasenhöhle zu ermöglichen. Die Differenzierung der Riechorgane erreicht innerhalb der Vertebraten bei den Säugern ihre höchste Komplexität. Die Wale und höheren Primaten bilden dabei jedoch die Ausnahme. Die enorme Empfindlichkeitsdifferenz zwischen Säugern z.B. zwischen Hund und Mensch beruht vor allem auf der Anzahl der Riehzellen im olfaktorischen Epithel und damit der Zahl der auf den olfaktorischen Cilien präsentierten Rezeptormolekülen. Darüber hinaus sind beim Menschen von den ca. 1.300 bei anderen Säugern, wie beispielsweise der Maus oder dem Hund, gefundenen Genen für olfaktorische Rezeptoren nur noch ca. 350 aktiv. Die anderen liegen nur noch als funktionslose Pseudogene vor. Dieser Unterschied in der Differenzierung des Riechorgans spiegelt sich auch in der Ausbildung des primären Riechzentrums im Gehirn wider. Dem bei Huftieren, Nagern und Raubtieren mächtig entwickelte *Bulbus olfactorius* entspricht bei den Primaten ein winziger Fortsatz des Telencephalon. Bei Delphinen ist das Riechorgan sogar ganz reduziert. Obwohl vieles dafür spricht, dass Brieftauben sich bei ihrer Orientierung zum Heimat-Schlag auch Geruchsinformationen ausnutzen, sind Vögel im Allgemeinen recht schlechte Riecher.

Neben dem olfaktorischen Epithel in der Nasenhöhle besitzen die meisten Reptilien und Säuger mit dem **Vomeronasalorgan oder Jakobson'sche Organ** ein weiteres Geruchsorgan im Gaumendach. Während Eidechsen und Schlangen beim „Züngeln“ mit der Zungenspitze Duftmoleküle aufnehmen und diese beim Zurückziehen der Zunge auf das Sinnesepithel des Vomeronasalorgans übertragen wird bei vielen Säugern die Funktion des Vomeronasalorgan im

Zusammenhang mit der Perzeption von Pheromonen gebracht. Zwar wird die Existenz des Vomeronasalorgans beim Menschen z.Z. noch kontrovers diskutiert, doch gibt es recht weitreichende Evidenz dafür, dass auch beim Menschen Pheromone über das Vomeronasalorgan detektiert werden.

Für die Versuchstierhaltung ist von Bedeutung, dass die Populationsdichte z.B. von Mäusen über die Geruchsperzeption geregelt wird. Ist eine Population zu groß bzw. werden Tiere zu eng gehalten, so ist der art eigene Geruch im Areal zu intensiv und die Fruchtbarkeit der Weibchen über hormonelle Wege reduziert.

#### **4.2.2 Mechanorezeption - Hören**

Bei Wirbeltieren liegen die einfachsten Mechanorezeptoren in der Epidermis und Dermis der Haut. Sie kommen dort als freie Nervenendigungen oder umhüllt von akzessorischen Strukturen als „Körperchen“ in Form der Meissnerschen Tastkörperchen, Vater-Pacinischen Lammellenkörperchen oder Merkel-Tastkörperchen vor. Mittels prinzipiell ganz anderer Mechanorezeptoren, nämlich durch sekundäre Haar-Sinneszellen, werden die mechanischen Reize von Wasserströmungen im Seitenlinienorgan der Fische und der im Wasser lebenden Amphibien rezipiert. Als sekundäre Sinneszellen besitzen diese Haarzellen kein Axon, sondern können über Synapsen durch ihre efferente Innervation moduliert werden oder die Erregung an afferenten (ableitende, sensorische) Neurone weiterleiten. Gruppen von Haarsinneszellen projizieren mit ihrem reizaufnehmenden Stereovilli in eine Gallertkappe (Cupula), die durch die Wasserströmung im Seitelinienensystem abgelenkt werden.

Vom Seitenlinienorgan läßt sich phylogenetisch das Bogengangsystem des Labyrinthes im Innenohr der Wirbeltiere ableiten. In den Bogengängen sind als mechanosensitive Sinnesorgane, neben den Ampullen, die für die Detektion der Winkelbeschleunigung dienen, Utriculus und Sacculus lokalisiert, die für den Statischen Sinn zuständig sind. Zum Schallsinnesorgan der Tetrapoden entwickelt sich ein ventrale Aussackung des Labyrinths, zunächst die Lagena und später bei Säugern die Cochlea, in der mechanosensitive Haarzellen im Corti'schen Organ organisiert sind. Bei Säugern werden Schallwellen in der Luft über das äußere Ohr auf das Trommelfell geleitet und über den schalleitenden Apparat der Gehörknöchelchen im Mittelohr auf die flüssigkeitsgefüllten Räume der Cochlea übertragen. Aufgrund der Unterschiede der Mikromechanik der Cochlea ist das Frequenzspektrum der Hörbereiche verschiedener Säugetiere recht unterschiedlich und kann wie allgemein bekannt bei Fledermäusen, aber auch bei Nagetieren und Delphinen in den Ultraschallbereich hineinreichen.

Zahlreiche Säugetiere besitzen zudem Tasthaare oder Vibrissen, die vor allem als Druck- und Tastrezeptoren arbeiten. So sind an der Schnauze der Labornager große und kräftige

Tasthaare eingelenkt, deren Wurzeln mit hochempfindlichen, mechanosensitiven Nervenendigungen umspannt sind. Die Gesichtsvibrissen dienen Seehunden zur Ortung von sich im Wasser bewegenden Objekten, z.B. Beutefischen. Kürzlich konnten auch bei Krokodilen und Alligatoren Kuppelförmige Rezeptoren im Schnauzenbereich gefunden werden, die geringsten Wasserbewegungen detektieren und den Tieren eine Ortung von Beute ermöglichen.

#### 4.2.3 Lichtrezeption - Sehen

Cephalopoden und Vertebraten verfügen über komplexe Einzellinsenaugen, die in der Ontogenese analog gebildet werden. Dabei differenziert sich das gesamte Auge, incl. der everse Retina, bei den Cephalopoden aus dem Hautektoderm, während die Retina der Vertebraten onthogenetisch aus einer Ausstülpung des Diencephalons (Zwischenhirn) entsteht. Hieraus resultiert die „inverse“, dem Lichteinfall abgewandte Anordnung der Photorezeptoren im Auge der Vertebraten. In der Wirbeltierretina sind zwei getrennte Rezeptorsysteme unterschiedlicher Sensitivität und Qualität zu finden: das skotopische Stäbchensystem ermöglicht farbenblindes Dämmerungssehen und das photopische Zapfensystem ist auf Kosten der Sensitivität farbtüchtig. Das Verhältnis der Zahl der Zapfen zu der der Stäbchen und ihre Verteilung über die Retina variiert innerhalb der Vertebraten. In der Retina tagaktiver Tiere dominieren in der Regel die Zapfen während bei Dämmerungstieren die Stäbchen überwiegen. Die meisten Säugetiere sind Dichromate, sie besitzen zwei Typen von Zapfen, die Opsine unterschiedlicher spektraler Empfindlichkeit, Blau-Opsin und Grün-Opsin, exprimieren. Innerhalb der Primaten sind Neuweltaffen Dichromaten, während bei Altweltaffen einschließlich der Hominoiden ein weiterer Zapfentyp mit einem Rot-Opsin auftritt (Trichromat). Demgegenüber sind manche Fische sogar pentachromat und besitzen 5 Zapfentypen.

Extraokulare Lichtrezeptoren sind bei Wirbeltieren im Pinealorgan (= Parietalorgan), am Dach des Zwischenhirns lokalisiert. Das Pinealorgan ist bei manchen Wirbeltieren (Fischen, Reptilien) zu einem echten Auge mit akzessorischer Linse, dem sogenannten Medianauge differenziert. Über das Pinealorgan kann die circadiane Rhythmik und damit verbundene biologische Prozesse lichtabhängig gesteuert werden.

Neben den oben genannten „gängigen“ Sinnessystemen sind bei manchen Wirbeltieren spezielle Sinnesorgane ausgebildet. So sind z. B. Infrarotrezeptoren in den Grubenorganen am Kopf von Schlangen lokalisiert, die es den Tieren ermöglichen, Beutetiere über deren Körpertemperatur zu orten. Elektrische Fische detektieren nicht nur die elektrischen Felder anderer Tiere im Wasser, sondern können sogar mittels spezifischer elektrischer Signale kommunizieren.

### 4.3 Integument (Haut):

Es wird häufig übersehen, dass die Haut (das Integument) das flächenmäßig größte Organ von Wirbeltieren ist. Die Aufgaben und Leistungen des Integuments und seiner Derivate sind sehr umfangreich und vielgestaltig. Sie reichen beispielsweise von der Regulation des Wasserhaushalts und der Thermoregulation über Tarnung der Tiere bis hin zur Brutpflege. So spiegelt sich der große evolutive Schritt des Wasser-Landübergangs der Wirbeltiere sehr eindrucksvoll am Aufbau des Integuments wieder. Es ist leicht einsichtig, dass Landtiere sich von der Austrocknung schützen müssen. Auch wurde die Entwicklung zur Endothermie konnte erst an Land vollzogen und die Differenzierungen der Haut sind essentiell für die notwendige Thermoregulation.

Die Haut der Vertebraten unterteilt sich in Cutis und Subcutis. Dabei stellt die Cutis, die Haut im engeren Sinne dar und besteht aus Epidermis und Dermis. Die Epidermis der Vertebraten ist in der Regel ein mehrschichtiges Plattenepithel, wobei die sich in der Schicht des *Striatum germinativum* gebildeten Zellen durch vermehrte Keratin-Einlagerung verhornen und schließlich als tote Zellen das *Striatum corneum* aufbauen. Während Fische und Amphibien häufig eine sehr dünne, noch wenig verhornte Epidermis aufweisen, bildet sie Reptilien deren Hornschuppen aus, die cyclisch gehäutet werden (merke: die Hornschuppe der Reptilien und mancher Säuger (z.B. Schuppen am Schwanz der Ratte) sind epidermalen Ursprungs und damit nicht homolog zur Fischechuppe, die aus der Dermis stammt.). Aus der Reptilienschuppe dürfte die Feder der endothermen Vögel (und Archosauria) hervorgegangen sein, die ursprünglich nicht zur Lokomotion/Fliegen sondern eher zur Wärmeisolation der Tiere beigetragen hat. Als weitere Wärmeisolator epidermalen Ursprungs konnten sich Haare bereits auch bei endothermen Reptilien durchsetzen und sind später als Charakteristikum der Säuger gewertet worden. Weitere Derivate der Epidermis sind: Krallen, Nägel und Hufe, aber auch Hautdrüsen, wie Schweiß- und Milchdrüsen der Säuger und die Schleim- und Giftdrüsen in der Haut von Fischen und Amphibien.

### 4.4 Atmung

Der oxidative Stoffwechsel der Tiere erfordert einen ständigen Gasaustausch zwischen Organismus und Umgebung. Der äußere Gasaustausch ist sehr eng mit dem internen Transportsystem (Kreislaufsystem s.u.) gekoppelt. Neben Hauptatmungsorganen der Kiemen und Lungen kann der Gasaustausch bei Amphibien zu einem beträchtlichen Teil (~ 80%) über die Haut erfolgen (auch Mündhöhlenatmung). Bei „Fischen“ unterscheidet man Beutelkiemen (Cyclostomata, Neunaugen), Plattenkiemen (Elasmobranchii, Haie und Rochen) und die

Lamellenkiemen der Knochenfische (Teleostei). Demgegenüber besitzen die wasserlebenden Amphibien und manche Larvenstadien von „Fischen“ büschelförmige Außenkiemen. In den Kiemen verläuft der Blutstrom im respiratorischen Kapillarsystem entgegen dem Wasserstrom und Gase können im Gegenstromprinzip ausgetauscht werden. Die Vertebratenlunge und die Schwimmblase der „Fische“ differenzieren sich homolog als Aussackungen des Vorderdarms. Die Lungen der Tetrapodengruppen unterscheiden sich vor allem in der Ausdehnung des respiratorisch aktiven Aveolarepithels. Bei Schlange und „schlangengestaltigen“ Amphibien (Gymnophiona) ist einer der Lungenflügel reduziert. Beim Atemvorgang werden die Lungen bei der Inspiration mit Luft gefüllt, die bei der Expiration wieder entweicht. Die damit verbundenen Volumenänderungen werden in der Regel bei den Tetrapoden durch Atembewegungen des Brustkorbes (oder in Spezialfällen bei Schildkröten durch die Extremitätenmuskulatur oder bei Krokodilen über die Verschiebung des Eingeweidesackes mittels eines speziellen Muskels) unterstützt. Demgegenüber ist die eigentliche Lunge der Vögel starr konstruiert. Die eigentlichen, respiratorisch aktiven Teile der Lunge sind die sogenannten Parabronchien, die mit einem komplizierten Luftsacksystem in Verbindung stehen, das sich bis in die Knochen hineinerstreckt (pneumatisierte Knochen). Die Strömungseigenschaften in diesem System gewährleisten, dass sowohl beim Ein- als auch beim Ausatmen frische Luft in die Parabronchien gelangt und die Effizienz der Vogellunge gegenüber der Säugetierlunge höher ist.



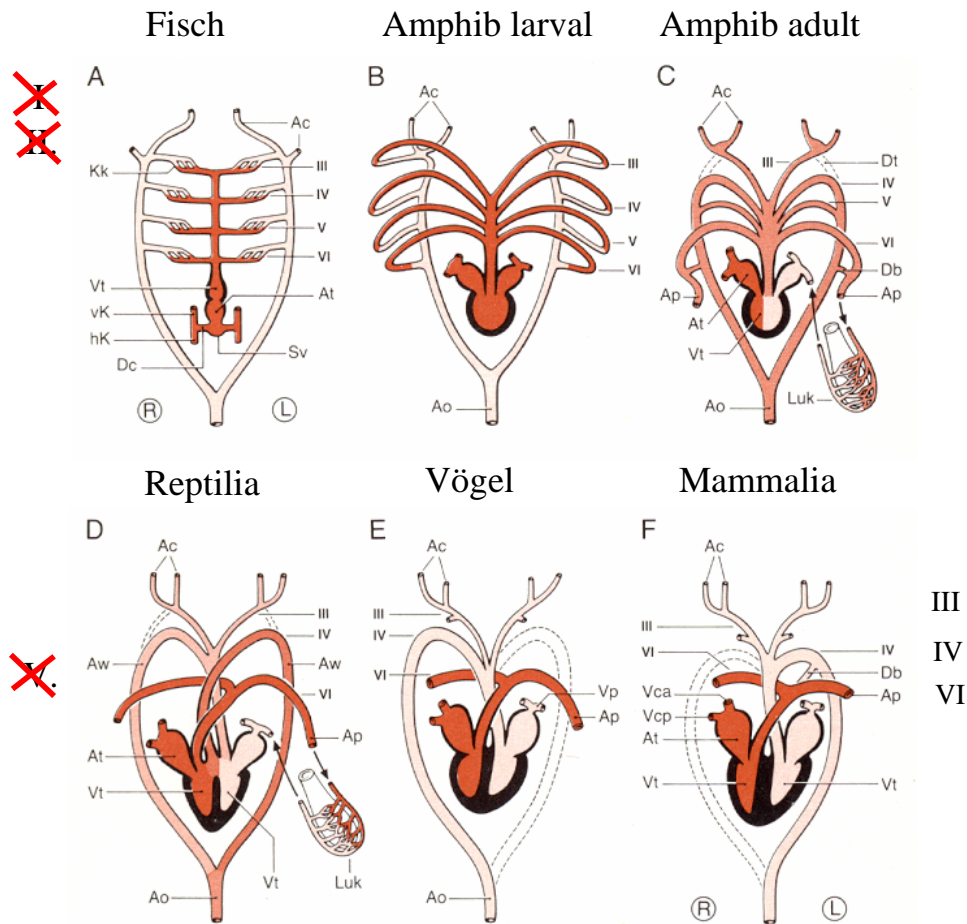


Abbildung: Gruppenspezifische Modifikationen des Gefäßsystems von Vertebraten (Verändert nach Wehner/Gering).

#### 4.5 Blutkreislaufsystem (BKS)

Vertebraten besitzen ein geschlossenes Blutkreislaufsystem mit einem dreiteiligen Herzen als Antriebsorgan: Das Wirbeltierherz besteht aus *Sinus venosus*, Atrium (Vor-) und Ventrikel (Hauptkammer), die vom Pericard (Herzbeutel) umgeben sind. Durch Einbezug des Lungenkreislaufs in das BKS differenzieren sich während der Phylogenese zwei Atrien (Amphibien - Reptilien) und später auch zwei getrennte Ventrikel (Vögel, Säuger), die die Durchmischung O<sub>2</sub>-reichen mit O<sub>2</sub>-armen Blutes verhindern. Zum Herz führende Gefäße werden Venen genannt, während Arterien das Blut vom Herzen wegführen. Bei Fischen wird das Blut vom Herzen über die *Aorta ventralis* in die Kiemengefäßarterien (in der Regel 6) gepumpt, um nach der Passage durch die Kiemen in der *Aorta descendens* dem Rumpf zugeführt zu werden. Bei den Landwirbeltieren werden die Arterienbögen ontogenetisch zwar angelegt, erfahren jedoch später gruppenspezifische Modifizierungen. Dabei werden die ursprünglich vorhandenen Bögen 1 und 2, sowie Bogen 5 bei Reptilien, Vögeln und Säugern (Amniota) vollständig

reduziert. Während Bogen 3 zur Kopfarterie und Bogen 4 zur Aortenwurzel werden, wird über den Bogen 6 die Lunge in den BKL einbezogen. Über den Lungenkreislauf oxygeniertes Blut gelangt über den linken Ventrikel und die Aortenwurzel in den Körperkreislauf, in dem desoxygeniertes Blut über die Hohlvenen zum Herzen zurückgeführt wird.

#### **4.6 Verdauungstrakt**

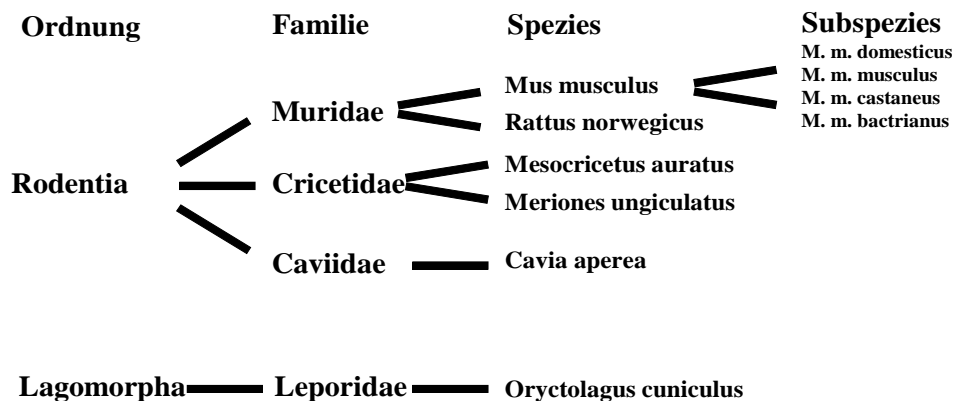
Der Verdauungstrakt der Vertebraten läßt sich neben dem Mundbereich und Pharynx (Rachen) in den Vorderdarm, Mitteldarm und Enddarm gliedern. Dabei setzt sich der Vorderdarm aus Oesophagus (Speiseröhre) und Magen, der in Cardia (Eingangsbereich), Fundus und Pylorus (Sphinkter zum Mitteldarm hin) unterteilt ist. Im Allgemeinen dient der Magen primär als Nahrungsspeicher und kann sekundär Verdauungsaufgaben übernehmen. Die Magenabschnitte unterscheiden sich vor allem in ihrer Ausstattung an Drüsen- und schleimbildenden Zellen. Während im Eingangsbereich Schleimdrüsen in der Darmwand lokalisiert sind, scheiden die Drüsen im Fundus HCl und Proteasen aus. Eine Sonderstellung innerhalb der Wirbeltiere nimmt der Magen der Vögel ein, der sich aus dem Drüsen- oder Vormagen und dem Muskelmagen zusammensetzt. Letztere formt bei Insekten- und Körnerfressern das Gewölle. Bei den Säugetieren stellt der Magen der Wiederkäuer eine Spezifikation dar: Hier gliedert sich der Magen in 3 Vormägen (Pansen, Netz- und Blättermagen) und den bei den übrigen Säugern homologen Magenabschnitt, den sogenannten Labmagen. Pansen und Netzmagen beherbergen eine sehr diffizile Endosymbionten-Fauna aus Ciliaten und Bakterien, die mit Hilfe von Cellulase Cellulose spalten können. Andere Mikroorganismen der Magenfauna können sogar im Pansen Harnstoff als Stickstoffquelle für die Proteinsynthese nutzen.

Der Mitteldarm, gleich Dünndarm, ist der eigentliche im Dienste der Verdauung, der Nahrungsresorption, stehende Darmtrakt. Sein erster Abschnitt ist das Duodenum, der Zwölffingerdarm, in den die Ausführungsgänge der Leber (Gallenflüssigkeit emulgiert Fette und aktiviert die Lipase des Pankreas) und des Pankreas, der wichtigsten Verdauungsdrüse, die zudem in den Langerhansschen Inseln die Hormone Insulin und Glucagon bildet, münden. Der Dünndarm setzt sich dann als Jejunum (= Leerdarm) und als Ileum (= Krummdarm) fort. Im Übergang zum Enddarm mündet der Blinddarm, auch Coecum oder Caecum genannt, der bei manchen Säugern (z. B. Insectivoren oder Bären) ganz fehlen kann, aber bei anderen eine sehr bedeutende Rolle spielt. So ist er bei manchen Vögeln (Auerhühnern) ein wichtiger Verdauungsbereich und bei herbivoren Nagetierarten und Lagomorpha (Hasenartige) ersetzt ein verhältnismäßig voluminöser Blinddarm in gewisser Weise den Pansen der Wiederkäuer. Im Coecum werden Vitamine der B-Gruppe gebildet und einzellige Symbionten sind Quelle von Cellulase. Bei Hasenartigen wird der im Coecum produzierte Vitamin-B-reiche Kot nach seiner

Ausscheidung aus dem Enddarm gefressen (Coecotrophie), der harte "normale" Kot dagegen wird meist nicht aufgenommen. Durch das Kotfressen werden die Aufnahme von Vitamin-B und die Weitergabe der Symbionten gesichert und die Coecotrophie ist damit ein für das Tier wichtiges Verhalten, das seiner Gesundheit dient und in Gefangenschaft keinesfalls unterbunden werden darf. Im Enddarm wird zunächst im Dickdarm (Colon) der Kot durch Wasserresorption eingedickt und Cellulose verdaut, bevor er nach der Passage durch das Rektum (Mastdarm) über den After ausgeschieden wird.

#### 4.7 Biologie und Verhalten von Versuchstieren:

Um eine tiergerechte Haltung zu gewährleisten und im Experiment erzielte Ergebnisse einschätzen zu können, bedarf es auch der fundierten Beurteilung der natürlichen Lebensweise einschließlich des Verhaltens der Zuchttiere und ihrer wildlebenden Vorfahren.



**Abbildung: Systematik der Versuchsnagetiere und des häufig fälschlicherweise als Nagetier angesehenen Kaninchens**

##### 4.7.1 Labormaus (*Mus musculus domesticus*)

Die meisten Stämme und Linien von Labormäusen stammen von der Hausmaus, *Mus musculus* (M. m.) ab, wobei genetisches Material der in Europa und Amerika beheimatete Subspezies *M. m. domesticus* sowie der in Asien vorzufindende Subspezies *M. m. musculus* in den Genpool der Labormäuse eingeflossen sind. Die ersten bekannten experimentellen Untersuchungen an Mäusen stammen aus dem 17. Jahrhundert. Hobbyzüchter waren wahrscheinlich zunächst an Varianten in der Fellfarbe interessiert, die dann später für Versuchszwecke weitergezüchtet

wurden. Während der Domestikation der Labormäuse erfuhren die Zuchtformen eine Reihe von Anpassungsveränderungen. Diese Domestikationseffekte zeigen sich besonders deutlich in der drastischen Abnahme des Gehirngewichtes in Bezug auf das Körpergewicht der Tiere. Auf Grund dieser Unterschiede liegt der Schluß nahe, dass sich auch das gesamte Verhaltensrepertoire während der Domestikation verringert hat. Die Verkleinerung anderer Organe, z.B. von Herz, Nebenniere, Milz und Leber deuten darauf hin, dass die Widerstandsfähigkeit der Zuchtmäuse insgesamt geringer ist. Zudem entwickeln sich die Geschlechtsorgane der über 500 gängigen Inzuchtstämme früher als die ihrer wildlebenden Ausgangsformen.

Die Wildform *Mus musculus* ist ein Allesfresser, der im Gegensatz zu anderen wildlebenden Mäusearten keine Vorräte anlegt. Sofern die Futter- und Wasserversorgung gesichert ist, verläßt die Hausmaus ein Areal von einigen Metern zeitlebens nicht. Hausmäuse leben in kleinen Verbänden (Großfamilien) in einem gemeinsamen, durch Duftmarken abgegrenzten Wohngebiet. Eß- und Ruheplätze sowie Harn- und Kotstellen werden gemeinsam genutzt. Unter den Männchen gibt es eine Rangordnung, die durch Kämpfe zwischen den Tieren aufgestellt wird. Zwischen den Mitgliedern der Großfamilie wird gut zu beobachtende soziale Körperpflege betrieben. Die Populationsgröße innerhalb des Hausmausbestandes kann durch hormonelle Geburtenregulation der Weibchen geregelt werden. So können heranwachsende Weibchen zunächst unfruchtbar bleiben.

Die Hauptaktivitätszeit der Hausmaus liegt am Abend und in der Nacht. Allerdings können Aktivitäts- und Ruhephasen im Tagesgang recht häufig wechseln (bis ~ 20-mal). Bei der nächtlichen Orientierung der Tiere spielen Geruchs- und Gehörsinn die Hauptrolle. Dabei ist der Dynamikbereich der Schallwahrnehmung bei Mäusen gegenüber dem Menschen in den höheren Frequenzbereich (bis ~ 40 kHz) ausgedehnt. Im Dunkeln orientieren sich Mäuse sehr gut chemotaktisch an Harnmarkierungen. Doch setzen sie auch ihre mechanosensitive Vibrissen, die vor allem im Schnauzenbereich lokalisiert sind, ein.

Demgegenüber steht die visuelle Orientierung mit den recht kleinen Augen eher im Hintergrund. Mäuse sind Dichromaten, besitzen neben Stäbchenphotorezeptoren nur Grün- und Blau-Zapfen. Unter reinem Rotlicht können sie sich nicht optisch orientieren. Entgegen häufig in der Literatur beschriebenen Daten entspricht das Verhältnis der Zahl von Zapfen zu Stäbchen ungefähr dem Verhältnis beim Menschen. Allerdings sind die Zapfen bei Mäusen nicht wie beim Menschen in der *Fovea centralis* konzentriert, sondern mehr oder weniger homogen über die gesamte Retina verteilt.

**Biologische Daten der Labormaus:**

Körpermasse:	20-35 g, max. bis 50g
Kopf-Rumpf-Länge:	5-10 cm; Schwanzlänge: 8-10 cm
Körpertemperatur:	36-38°C
Atemfrequenz:	ca. 160 Respirationen / min.
Herzschlagfrequenz:	300-800 Schläge / min.
Blutdruck:	150 / 100 mmHg
Chromosomenzahl (2n) :	40
Lebensdauer:	1,5 - 2 Jahre (maximal 3 Jahre)

Verhalten: Nachtaktives Nagetier, Nesthocker, kommensale Lebensweise, Kosmopolit, Zusammenleben in Gruppen mit ausgeprägter Hierarchie, Nestbauverhalten, Fellpflege (Grooming), Männchen untereinander sehr aggressiv, Geruchsmarkierung des Reviers mit Urin

**Reproduktionsbiologie:**

Weibchen: 5 Mammarkomplexe, Uterus duplex

Geschlechtsreife: Männchen: ca. 30-40 Tage Weibchen ca. 40-50 Tage

Zuchtreife: 55-70 Tage

Brunstzyklus: asaisonal polyöstrisch, Zykluslänge: 4-5 Tage, Spontanovulation im Östrus

Tragzeit: 18-21 Tage

Wurfgröße: Inzuchtstämme: 5-8, Auszuchtstämme: 10-20

Geburtsgewicht: ca. 1 g

Absetzalter: frühestens 18-21 Tage

Absetzgewicht: durchschnittlich 10 g

Verpaarung: erfolgt permanent (vorzugsweise) oder alternierend; monogam oder polygam

Whitteneffekt: Der Whitteneffekt kann zur Zyklussynchronisation genutzt werden. Hierbei werden in großen Gruppen gehaltene, azyklische Weibchen terminiert mit Männchen verpaart. Bei ca. 50% der Tiere wird am 3. Tag nach Verpaarung ein Östrus zu beobachten sein.

Bruceeffekt: Wird ein Mausweibchen in früher Trächtigkeit zu einem neuen Bock gesetzt, so kann es zum Abort der Föten kommen.

Lee-Boot-Effekt: Durch sterile Kopulation wird zuverlässig eine 10 – 13 Tage andauernde Pseudogravidität induziert. Der Lee-Boot-Effekt kann in

selteneren Fällen auch durch mechanische Stimulation der Scheide, z.B. im Rahmen vaginalzytologische Untersuchungen, induziert werden.

#### Ernährungsbiologie

Zahnformel:	Maxilla: 1003;	Mandibula: 1003
Futteraufnahme:	3-6 g pelletiertes Trockenfutter / Tag / Tier	
Wasseraufnahme:	4-7 ml / Tag / Tier	
Urinmenge:	1-3 ml / Tag / Tier	

#### 4.7.2 Labormaus (*Rattus norvegicus*)

Labormäuse sind fast ausschließlich Nachfahren der Wanderratte (*Rattus norvegicus*), die ursprünglich aus dem asiatischen Raum stammte und neben Hausmaus (*Rattus rattus*), die vorher durch die Kreuzritter eingeschleppt wurde, im 17. Jahrhundert in Europa heimisch wurde. Auch Labormäuse zeigen durch die Domestikation hervorgerufene Anpassungsveränderungen, die sich vor allem gegenüber der Wildform in - bezogen auf das Gesamtkörpergewicht - leichteren inneren Organen äußert. Zudem sind Labormäuse früher, nach ca. 60-70 Tagen, geschlechtsreif und Weibchen zeigen bei einer Tragzeit von 21-23 Tagen eine höhere Fruchtbarkeit (6-12 Junge pro Wurf sind Nesthocker). Mäuse können bis zu 3,5 Jahre alt werden und können ein Gewicht von bis 300 g bei Weibchen und 550 g bei Männchen erreichen.

Mäuse sind Allesfresser und sehr anpassungs- und lernfähig. Sie leben territorial in Rudeln mit einer Rangordnung. Ihre Hauptaktivitätsphasen liegen in der Nacht und während der frühen Morgenstunden. Auch bei Mäusen steht die visuelle Orientierung eher im Hintergrund. Das Photorezeptorrepertoire gleicht dabei demjenigen der Maus. Mäuse orientieren sich vor allem an chemischen und mechanischen Reizen. Sie besitzen ein sehr gutes Gehör mit Frequenzmaximum im Ultraschallbereich (80 kHz) und setzen Vibrissen am Kopf, Beinen und Schwanz als Tastrezeptoren ein.

#### Biologische Daten der Labormaus:

Körpermasse:	250-500 g, max. bis 600 g
Kopf-Rumpf-Länge: 22-26 cm;	Schwanzlänge: 18-22 cm
Körpertemperatur:	37,5-38,5 °C
Atemfrequenz:	ca. 60-170 Respirationen / min.
Herzschlagfrequenz:	300-500 Schläge / min.
Blutdruck:	150 / 100 mmHg
Chromosomenzahl (2n) :	42
Lebensdauer:	2 - 3 Jahre (maximal 3,5 Jahre)

Verhalten: Nachtaktives Nagetier, Nesthocker, Kommensale Lebensweise, Kosmopolit, Zusammenleben in Gruppen mit ausgeprägter Hierarchie, Nestbauverhalten, gegenseitige Fellpflege, Männchen untereinander wenig aggressiv, Geruchsmarkierung des Reviers (Urin)

Reproduktionsbiologie:

Weibchen	6 Mammarkomplexe, Uterus duplex
Geschlechtsreife:	50-70 Tage
Zuchtreife:	90-100 Tage
Brunstzyklus:	asaisonal polyöstrisch, Zykluslänge: 4-6 Tage, Spontanovulation im Östrus
Tragzeit:	20-23 Tage
Wurfgröße:	Inzuchtstämme: 6-10, Auszuchtstämme: 10-20
Absetzalter:	frühestens 18-21 Tage
Absetzgewicht:	durchschnittlich 35-50 g
Verpaarung erfolgt	permanent oder alternierend; monogam oder polygam

Ernährungsbiologie:

Zahnformel:	Maxilla: 1003; Mandibula: 1003
Futteraufnahme:	12-20 g pelletiertes Trockenfutter / Tag
Wasseraufnahme:	15-35 ml / Tag
Urinmenge:	10-15 ml / Tag
Anatomische Besonderheit:	Fehlen einer Gallenblase

#### 4.7.3 Kaninchen (*Oryctolagus cuniculus*)

Die Heimat der europäischen Kaninchen ist die iberische Halbinsel. Sie wurden zunächst von den Römern weiter über Europa verbreitet und bereits im 16. Jahrhundert waren einige Rassen bekannt. Kaninchen zählen zur Ordnung der Lagomorpha (Hasenartige) und besitzen im Gegensatz zu den Nagetieren im Oberkiefer ein weiteres Paar Schneidezähne, die als kleinere Stützähne ausgebildet sind. Kaninchen verfügen als Pflanzenfresser über einen langen Darmtrakt mit einem großen Blinddarm (Caecum). Der aus dem Blinddarm stammende weiche Kot ist proteinreich und enthält Vitamin-B. Er wird von den Tieren in den frühen Morgenstunden direkt vom Anus aufgenommen (Caecotrophie, s.o.).

Bei Kaninchen beträgt die Tragzeit 29-35 Tage und die Wurfgröße liegt bei 4-10 Jungtieren (Nesthocker). Kaninchen können je nach Rasse bis 7 Jahre alt und 2-7 kg schwer werden. Weibliche Tiere können gut in Gruppen gehalten werden, wohingegen männliche Tiere untereinander aggressiver sind und Rangordnungskämpfe austragen.

**Biologische Daten des Kaninchens:**

Körpermasse:	250-500 g, max. bis 600 g
Körpermasse:	1,7 – 5,0 kg (stark rasseabhängig, bei einigen Rassen werden die Weibchen teilweise schwerer als die Männchen)
Körpertemperatur:	ca. 39,5 °C
Atemfrequenz:	ca. 40-60 Respirationen / min (unter Belastung bis 150)
Herzschlagfrequenz:	120-250 Schläge / min (rasse- und belastungsabhängig)
Blutdruck:	110 / 80 mmHg
Chromosomenzahl (2n) :	44
Lebensdauer:	5 - 7 Jahre (maximal bis 14 Jahre)

Verhalten: Tag- und Nachtaktives Tier, Nesthocker, in freier Natur Zusammenleben in Gruppen mit hierarchischer Ordnung, Nestbauverhalten, gegenseitige Fellpflege, Männchen untereinander sehr aggressiv (gezielte Hodenverletzungen), Geruchsmarkierung des Reviers (Urin, Drüsen im Halsbereich)

Reproduktionsbiologie: „Langtagzüchter“

Weibchen	4 Mammarkomplexe, Uterus duplex
Geschlechtsreife:	ca. 100 Tage
Zuchtreife:	ca. 4 - 6 Monate
Brunstzyklus:	kein regelmäßiger Brunstzyklus, es sind stets sprungbereite Eifollikel am Ovar vorhanden, die Ovulation wird neurohormonal ausgelöst und erfolgt ca. 10 Std. nach der Begattung (Reflexovulation)
Tragzeit:	ca. 31 Tage
Wurfgröße:	3 - 9
Absetzalter:	42-56 Tage
Absetzgewicht:	stark rasseabhängig, ca 0,5 – 1,5 kg
Verpaarung:	erfolgt durch temporäres Zusetzen der Zibbe zum Rammler

Ernährungsbiologie:

Zahnformel:	Maxilla: 2033; Mandibula: 1023
Futteraufnahme:	40 g pelletiertes Trockenfutter / Tag
Wasseraufnahme:	60-350 ml / Tag
Urinmenge:	50-500 ml / Tag



#### 4.7.4 Südafrikanischer Krallenfrosch (*Xenopus laevis*)

Im Gegensatz zu anderen Anuren ist *Xenopus* ausschließlich ans Wasser gebunden und kann an Land nur kurz überleben. Die Kaulquappen sind Detritusfresser, wohingegen adulte Tiere carnivor sind. Sie fressen alles lebende und tote Material, das sie in stehenden Gewässern finden und das sie sich mit den Vorderextremitäten ins Maul stopfen. Die namensgebenden Krallen setzen Krallenfrösche zum Graben nach Beute im Schlamm ein. Zudem vergraben sich die Tiere im Schlamm, wenn die Heimattümpel im Sommer austrocknen und verharren dort bis zur nächsten Regenzeit. Die Weibchen legen im Frühjahr binnen 24 h auf einmal 500-1000 Eier, die von den angeklammerten Männchen anschließend besamt werden. Die Larven schlüpfen ca. 3 Tage nach der Besamung und vollziehen die Metamorphose nach ca. 2 Monaten. Sie sind nach ca. 18 Monaten geschlechtsreif.



#### 4.7.5 Zebrafisch, Zebraärbling (*Danio rerio*)

Der Zebrafisch ist auf Grund seiner großen Potenz für genetische Ansätze in den letzten Jahren ein weiteres, gängiges Labortier und Tiermodell für menschliche Erkrankungen geworden. Die Wildformen von *Danio* stammen aus Pakistan, Indien, Bangladesch und Nepal, wo sie in Flußbiotopen mit dichter Randbepflanzung leben. Die sehr lebhaften, sonnenlichtliebenden Fische sind im Alter oft aggressiv. In der Zucht legt das Weibchen zwischen 300 und 400 Eier ab. Da die Elterntiere Laichräuber sind, sollten sie nach der Eiablage aus dem Zuchtaquarium wieder entfernt werden. Die Entwicklungszeit von *Danio* beträgt in der Zucht ca. 24 h. Durch die Durchsichtigkeit der Jungtiere können Entwicklungsvorgänge am lebenden Tier, wie z.B. die Organogenese oder das Auswachsen von Blutgefäßen beobachtet werden. Die bis zu 6 cm langen adulten Tiere können leicht als Schwarmfische in größeren Verbänden gehalten werden und können ein Alter von 3,5 Jahren erreichen.

