

FORTBEWEGUNG DER WIRBELTIERE

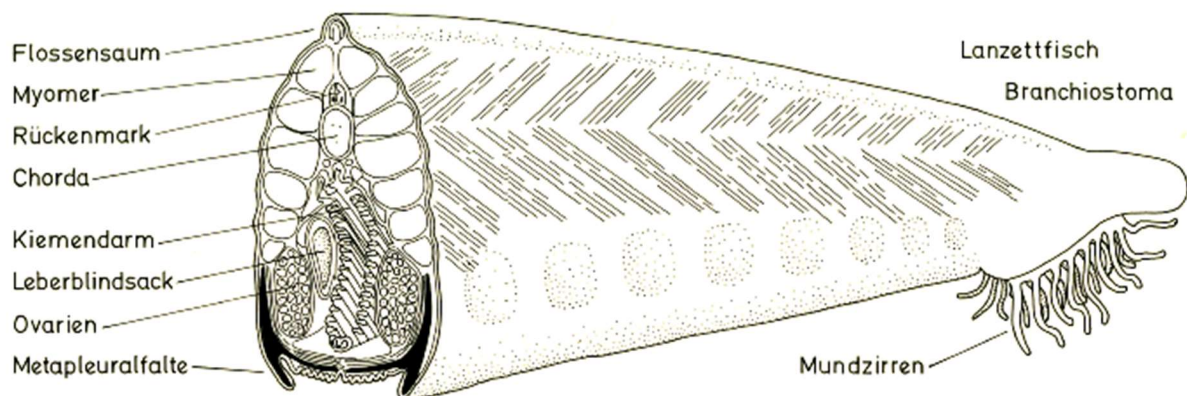
Inhalt

ENTWICKLUNG DES BEWEGUNGSAPPARATS.....	2
VOM FLOSSENSAUM ZUR PAARIGEN FLOSSE	2
KONSTRUKTIONSPRINZIPIEN DES TETRAPODENSKELETTS.....	4
AUFBAU DER TETRAPODENGLIEDMASSEN	6
FORTBEWEGUNG DER WIRBELTIERE.....	7
SCHWIMMEN.....	7
FORTBEWEGUNG AUF DEM BODEN.....	8
GANGARTEN	11
FLIEGEN	12
AKTIVES FLIEGEN	13
PASSIVES FLIEGEN	14

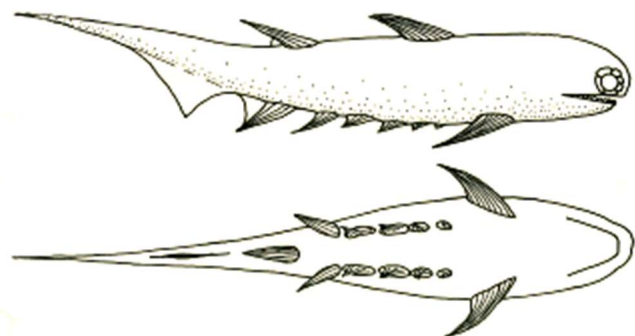
ENTWICKLUNG DES BEWEGUNGSAPPARATS

VOM FLOSSENSAUM ZUR PAARIGEN FLOSSE

Die marinen Lanzettfischchen oder Acrania leben als hemisessile Strudler; aufgrund der ursprünglichen Ausbildung einiger Organe und Organsysteme gelten sie als „Urwirbeltiere“. Altertümlich ist auch ihre Fortbewegungsweise, das Schlängelschwimmen. Ein Flossensaum entlang der Rückenlinie und ein weiterer, der hinter der Ausströmöffnung des Atemwassers beginnt, verbreitern sich zur Schwanzflosse. Schließlich verläuft beiderseits der Unterseite die paarige Metapleuralfalte.



Nach der SEITENFALTENTHEORIE des Cambridger Zoologen F M. Balfour entstanden aus den Metapleuralfalten durch Entwicklung knöcherner Stützen und Muskulatur die Brust- und Bauchflossen (Pectoralia und Ventralia) der typischen Fische. Damit konnten sie präzisere Schwimmbewegungen und Steuermanöver durchführen. Unterstützung erfuhr die Seitenfaltentheorie durch die Anordnung paariger Flossen bei den Stachelhaien (Acanthodii) mit der Gattung *Climatius*. Anstelle der Metapleuralfalten stehen hier 7 Flossenpaare, die von kräftigen Dentinstacheln gestützt werden. Besonders stark ist das vordere und das hintere Paar entwickelt. Von diesen lassen sich die Stützelemente der paarigen Flossen ableiten. Stachelhaie sind die ältesten kiefertragenden Wirbeltiere und gelten als Stammgruppe der heutigen Knorpel- und Knochenfische. Die 7-30 cm langen Acanthodii bewohnten vorwiegend die Süßgewässer im Erdaltertum.



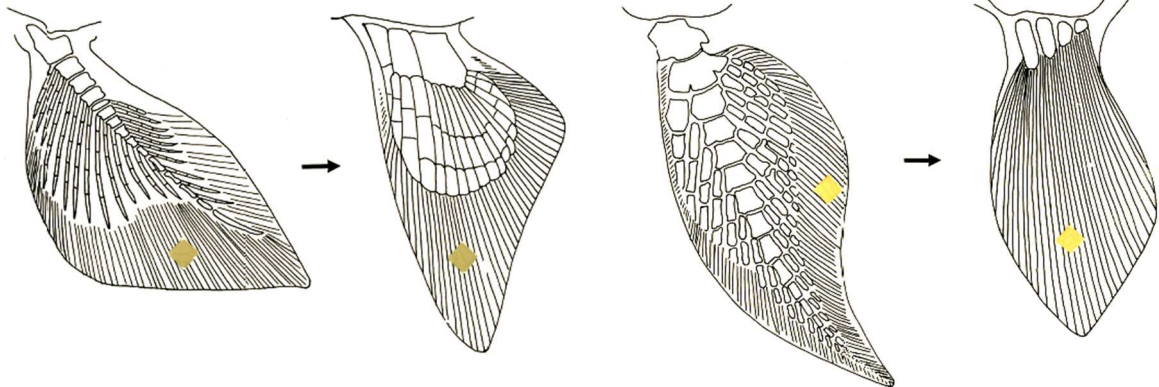
Stachelhai *Climatius*

Die ursprüngliche Flosse ist das ARCHIPTERYGIUM, die Ur-Flosse. Sie erscheint erstmals bei frühesten Knorpelfischen (+*Pleuracanthus*) und bei altertümlichen Knochenfischen (Lungenfische und Quastenflosser).

Eine aus mehreren Grundgliedern, den Basalia¹ gebildete Flossenachse setzt gelenkig am Schultergürtel¹ an, und es stehen am vorderen wie am hinteren Rand mehrgliedrige Stützelemente, die Radien¹. Durch diese prä- und postaxialen Radien entsteht das biserialle Archipterygium, das heute noch für den Australischen Lungenfisch *Neoceratodus* typisch ist. Der weiche Flossenteil wird von häufig miteinander verbundenen Strahlen stabilisiert. Diese entstehen aus verwachsenen Schuppenreihen, sind also knöchern (=Lepidotrichia der meisten Knochenfische). Dagegen werden sie bei Lungen- und Knorpelfischen aus verfestigtem Bindegewebe, dem Elastoidin gebildet (Ceratotrachia).

Ceratotrachia¹

Lepidotrichia¹



Biseriales Archipterygium von *Pleuracanthus*

Brustflosse vom Hai (*Squalus*)

Biseriales Archipterygium von *Neoceratodus*

Actinopterygium eines Teleosters

Durch Reduktion der hinteren Radien und Verminderung der Basalia auf drei Elemente (Pro-, Meso-, Metapterygium), bildete sich die typische Brustflosse der Haie. Innerhalb der Knochenfische werden Basalia und Radialia soweit zurückgebildet, dass die Flosse fast ausschließlich von Lepidotrichia gebildet wird; es entsteht das ACTINOPTERYGIUM der Strahlflosser (Actinopterygii).

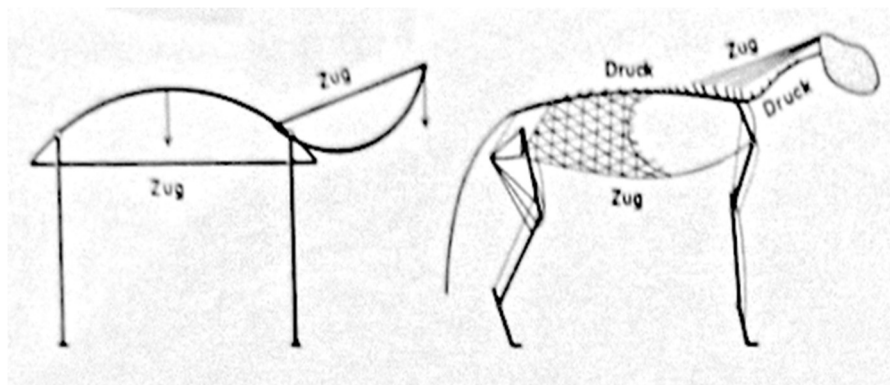
Vom biserialen Archipterygium lassen sich die paarigen Brust- und Bauchflossen der Quastenflosser oder Crossopterygii ableiten. Gegenüber einer Flosse des Australischen Lungenfischs *Neoceratodus* verringerte sich die Anzahl der Basalia und, entsprechend der kräftigen Muskelansätze, auch ihre Gestalt. Nachweislich entstanden aus den Rhipidistia, einer Verwandtschaftsgruppe der Quastenflosser aus dem Devon, die ersten Lurche, und aus diesen wiederum alle vierfüßigen Wirbeltiere. Damit sind mehrere Elemente des Flossenskeletts die Vorläufer unserer Gliedmaßenknochen.

¹ Die Elemente sind an den Fischflossen in der Ausstellung farbig markiert:

Basalia ●●, Schultergürtel ●, Radien ◆, Ceratotrachia ◆, Lepidotrichia ◆

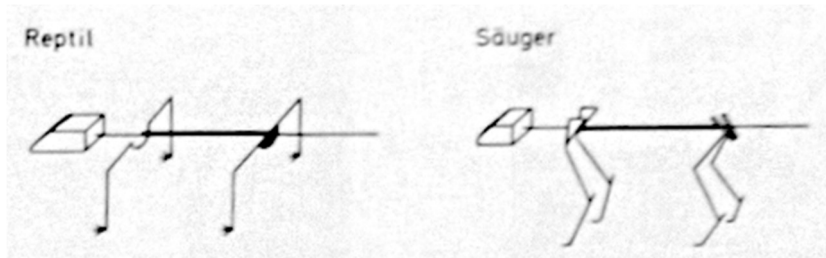
KONSTRUKTIONSPRINZIPIEN DES TETRAPODENSKELETTS

Die Wirbelsäule erfährt bei landlebenden Wirbeltieren (Tetrapoden) erhebliche Belastungen. Während bei Amphibien und Reptilien der Körper nur bei rascher Bewegung vom Boden abgehoben wird, behält der Säuger diese Haltung stets bei. Betrachtet man das Rumpfskelett eines Säugetiers als eine Bogen-Sehnen-Konstruktion, so formt die Wirbelkörperreihe den dorsalen, druck- bzw. zugbelasteten Bogen (Pfeile), während die ventralen Rumpfmuskeln eine zugfeste Sehne bilden, die den Bogen verspannt. Die Dornfortsätze dienen als Muskelhebel. Entsprechend dem Muskelzug sind sie im vorderen Wirbelsäulenabschnitt nach hinten geneigt, während sie im hinteren Bereich nach vorn weisen. Zwischen zwei Wirbeln im hinteren Brustbereich erfolgt ein Richtungswechsel Auch die Länge der Dornfortsätze – wie auch der Querfortsätze steht im engen Zusammenhang mit den Bewegungsmöglichkeiten, d.h. der Muskelanordnung der entsprechenden Rumpfregeion. Der Bogen ruht hier auf zwei Stützen, dem vorderen und dem hinteren Gliedmaßenpaar. Dagegen wird die Bogen-Sehnen-Konstruktion des Halses nur an einem Ende – von den Vordergliedmaßen – unterstützt. Entsprechend der einseitigen Belastung durch den Kopf ist die Halswirbelsäule bodenwärts durchgebogen, die Sehne (Nackenband und -muskulatur) liegt rückenwärts.



Bogen-Sehnen
Konstruktion des
Säugetierskeletts
(Hund)

Vergleicht man die Gliedmaßenstellung eines Salamanders oder einer Eidechse mit der eines Hundes, so ergeben sich deutliche Unterschiede: Oberarme bzw. Oberschenkel stehen beim Amphib und Reptil mehr oder weniger waagrecht nach außen, Unterarme und Unterschenkel senkrecht nach unten. Der Körper wird – bei rascher Fortbewegung – mit hohem Kraftaufwand vom Boden weggestemmt. Dagegen



stehen die Gliedmaßen eines Säugetiers (Ausnahme: Kloakentiere) unter dem Körper. Ellenbogen- und Kniegelenke weisen gegeneinander. Die Bewegung von Salamander und Eidechse erfolgt schlängelnd; während der Ruhe und langsamer Bewegung (KRIECHEN) liegt der Bauch dem Boden auf. Beim Säugetier hingegen ist die seitliche Auslenkung der Wirbelsäule gering. Durch die energetisch günstigere Gliedmaßenstellung konnten sich unterschiedliche Gangarten entwickeln.

Der SCHULTERGÜRTEL dient als Träger der Brustflossen bzw. der Vordergliedmaßen. Er tritt erstmals bei gepanzerten Altfischen (Placodermi, Arthrodira) auf. Es werden zwei Anteile noch ihrer Herkunft unterschieden:

1. Eine bogenförmige, paarige Spange aus Ersatzknochen: ihr oberer Teil, die Pars scapularis wird bei Landwirbeltieren zum Schulterblatt (Scapula), der untere Teil, Pars coracoidea zum Rabenschwanzbein (Coracoid). Diese Teile bilden den primären Schultergürtel.

2. Der sekundäre Schultergürtel aus Deck- oder Hautknochen: er setzt sich aus dem langgestreckten dorsalen Cleithrum und dem ventralen Thorakale (=Clavicula = Schlüsselbein) zusammen. Verbindungen mit der hinteren Schädelregion erhält der Schultergürtel über weitere dermale Elemente (Supracleithrum, Posttemporale). Bei höheren Knochenfischen (Teleostei) verdrängt das Cleithrum die primären Gürtel Elemente und wird zum alleinigen Träger der Brustflossen.

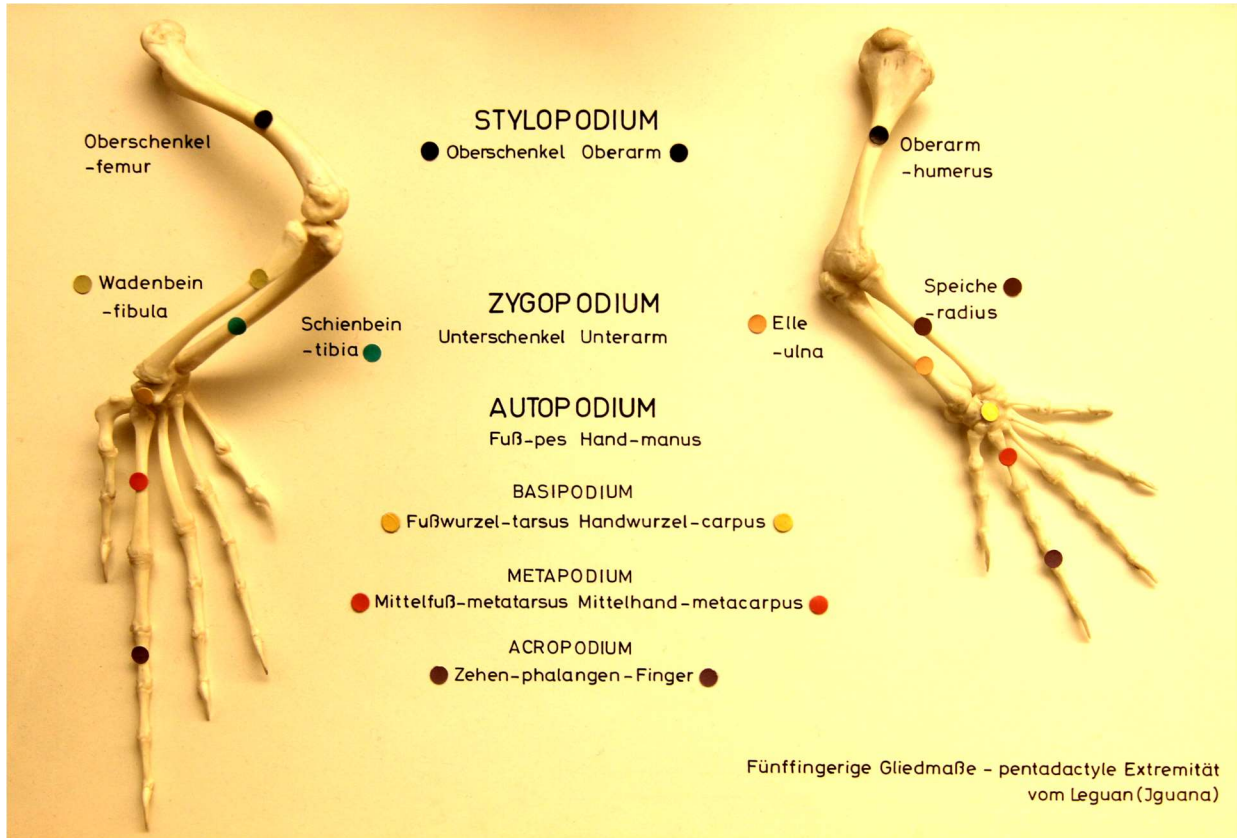
Der Schultergürtel vierfüßiger Wirbeltiere (Tetrapoda) verliert die Verbindung zum Schädel und erhält über Brustbein (Sternum) und Rippen. (Costae) Verbindung mit der Wirbelsäule. Innerhalb der Amphibia ist der Schultergürtel bei Schwanzlurchen (Urodela) weitgehend knorpelig, bei Froschlurchen (Anura) zum großen Teil knöchern, das Cleithrum liegt als stabförmiges Rudiment in der knorpeligen Suprascapula. Claviculae und (Pro-)Coracoide verbinden Scapula and Oberarmgelenk mit einer Ventralplatte. Dieser liegt zum Kopf hin (cranial) ein Episternum und zum Schwanz hin (caudal) das eigentliche Brustbein (Sternum) an. Bei einigen Anura (z.B. Unken – *Bombina*) sind zwei gegeneinander verschiebbare Ventralplatten vorhanden („Schiebebrustfrösche“ *Arcifera*). Innerhalb der Reptilien bilden Scapula und (Pro-)Coracoid vielfach eine Einheit. spangenartig liegen die Claviculae am Vorderrand des Schultergürtels und die T-förmigen Interclavicula vor und auf dem Sternum. Schildkröten haben Claviculae und Interclavicula in den Bauchpanzer eingebaut. Krokodilen fehlen die Claviculae. Auch bei den Vögeln (Aves) sind Scapula und Coracoid miteinander verbunden. Die Claviculae verlieren ihren Kontakt mit dem Sternum, sie sind am unteren Ende zu einer Gabel (Furcula) verwachsen. Innerhalb der Mammalia zeigen die Monotremen noch reptilhafte Verhältnisse. Bei ihnen sind Pro- und Metacoracoid vorhanden. Höhere Säuger (Marsupialia, Placentalia) haben die Coracoide weitgehend reduziert, so dass vielfach nur noch ein Processus coracoideus verbleibt.

BRUSTBEIN An der medianen Verbindungsstelle der Rippen bildet sich das Brustbein (Sternum). Das vordere, verbreiterte Glied wird Handgriff (Manubrium sterni), das hintere, spitz zulaufende, Schwertfortsatz (Processus xiphoideus) genannt, die übrigen Segmente heißen Sternebrae. Funktionelle Ansprüche, d.h. Lage und Größe von Muskeln, Bändern und Sehnen formen den Schultergürtel und seine Elemente, so besitzen z.B. grabende und kletternde Säuger ausgeprägte Schlüsselbeine, Huftieren, Walen und Robben fehlen sie. Als Ansatzfläche für die Flugmuskulatur wird das Sternum der Vögel plattenartig verbreitert und trägt einen Brustbeinkamm (Crista = Carina sterni). Einer Anzahl flugunfähiger Vögel fehlt die Crista, sie werden daher als Flachbrustvögel (Ratitae) den Kielbrustvögeln (Corinatae) gegenübergestellt.

BECKENGÜRTEL Im Gegensatz zu dem am Schädel fixierten Schultergürtel der Fische liegt der „Beckengürtel“ als Träger der paarigen Bauchflossen frei in der Muskulatur der Bauchwand, dementsprechend können Bauchflossen z.B. bauch-, brust- oder kehlständig sein. Das typische Fisch„becken“ besteht aus einem langgestreckten paarigen Knochen, dem Stammstück. Bei Tetrapoda übernimmt das Becken wichtige Funktionen als Stützorgan und als Muskelansatz, es besteht aus drei paarigen Elementen, dem nach vorn gerichteten Schambein (Os pubis), dem nach hinten gewandten Sitzbein (Ischium) und dem nach oben gerichteten Darmbein (Ilium), das mit dem Kreuzbein (Sacrum) verbunden ist. Die Gelenkpfanne des Hüftgelenks (Acetabulum) wird von den drei Elementen gebildet. Abweichungen von diesem gleichmäßig dreistrahligen Becken finden sich z.B. im Froschbecken mit extrem nach vorn verlängertem Darmbein als Anpassung an die springende Fortbewegungsweise. Das langgestreckte und kompakte Vogelbecken zeigt in der schalenartigen Struktur und in der Rückwärtsverlagerung des Schambeines Besonderheiten, die mit dem zweifüßigen Gang in Zusammenhang stehen. Am Becken der Säugetiere verwachsen – in den meisten Fällen – beide Schambeinhälften. Ähnlich dem Vogelbecken ist bei einigen Gruppen, z.B. den Gürteltieren, die Kreuzbeinregion sehr langgestreckt. Nach unten-vorn gerichtet treten bei Kloakentieren und Beutlern knorpelig vorgebildete Knochenstäbe auf, die Beutelknochen (Ossa

marsupii). Diese am Vorderrande des Schambeins liegenden Knochen sind Stützelemente der vorderen Bauchwand (nicht des Beutels!), wahrscheinlich mit Bauchrippen verwandt.

AUFBAU DER TETRAPODENGLEDMASSEN



FORTBEWEGUNG DER WIRBELTIERE

SCHWIMMEN

SCHWIMMEN ist jede Fortbewegungsweise im oder auf dem Wasser. Aktive Schwimmbewegungen erfolgen durch Antriebsorgane, die sich am umgebenden Medium gewissermaßen „abstoßen“. Das geschieht in der Regel durch Flossen oder flossenartige Gliedmaßen; aber auch der gesamte Körper oder ein Ruderschwanz kann dem Vortrieb dienen. Vom vierfüßigen Schreiten leitet sich das LAUFSCHWIMMEN ab (vierfüßig: Sumpfschildkröte, zweibeinig vorn: Schnabeltier, hinten Biber). Typisches RUDERSCHWIMMEN zeigen z. B. Seeschildkröten und Pinguine, deren Vorderbeine bzw. Flügel einem Ruderblatt ähneln. Die Bewegungen erfolgen vorwiegend synchron, d. h. beide „Flossen“ schlagen gleichzeitig auf und ab. SCHLÄNGELSCHWIMMEN wird z.B. beim Aal, der Ringelnatter oder dem Fischotter beobachtet, auch der seitlich abgeflachte Schwanz eines Krokodils oder der Bisamratte führt undulierende (lat. *unda* = Welle) Bewegungen aus. Besonders eindrucksvoll ist das Rumpfschwimmen beim Seehund. Der Körper schwingt seitlich aus, die nach hinten gerichteten Hinterbeine spreizen die mit Schwimmhäuten versehenen Zehen, so dass, wie beim Wrickschwimmen der Fische, ein Heckantrieb (= Schwanzflossenantrieb) entsteht. Wale und Seekühe schlagen dagegen in vertikaler Richtung mit einer horizontal gestellten Bindegewebsplatte, der „Fluke“. Als Besonderheit muss das RUCKSTOSSSCHWIMMEN der Kopffüßer, aber auch einiger Fische (z.B. Anglerfische) erwähnt werden.

In der Ausstellung zu sehen:

- Brustflosse eines Meerengels (*Squatina spec.*), Ceratotrichia entfernt
- Brustflosse (Biseriales Archipterygium) des Australischen Lungenfisch (*Neoceratodus forsteri*)
- Brustflosse mit Schultergürtel des Hechts (*Esox lucius*)
- Modell einer Brustflosse (Archipterygium) des Devonischen Fleischflossers *Eusthenopteron* im Maßstab 2:1
- Flaschnenasendelphin, Großer Tümmler (*Tursiops truncatus*): Vordergliedmaße (Flosse), Vermehrung der Fingerglieder = Hyperphalangie
- Brillenpinguin (*Spheniscus demersus*): Vordergliedmaße (Flosse)
- Unechte Karettschildkröte (*Caretta caretta*): Vordergliedmaße (Flosse)

FORTBEWEGUNG AUF DEM BODEN

SOHLENGANG – plantigrade Lokomotion: Beim Sohlengang stützt sich der Körper auf die gesamte Hand- bzw. Fußfläche (lat. *planta* – Fußsohle). Fußwurzel (Tarsus), Mittelfuß (Metatarsus) und Zehen (Phalangen) bzw. im Handbereich Carpus, Metacarpus und Phalangen erhalten Bodenkontakt, lediglich beim Abrollen sind die Elemente gegeneinander abgewinkelt. Als Beispiel sei der Bär genannt. Der Fuß vom Menschen ist vom Greiffuß abzuleiten, die große Zehe (Hallux), wie der Daumen ursprünglich opponierbar, wurde beim Menschen an die übrigen Phalangen herangezogen (adduziert) und fixiert, Mittelfuß- und Fußwurzelregion bilden in Anpassung an feste Böden ein elastisches Gewölbe. Stets sind bindegewebige Sohlenpolster vorhanden. Sohlengänger zeigen nur selten Reduktionen seitlicher Strahlen, sie stellen den ursprünglichsten Fortbewegungstyp auf dem Boden dar

In der Ausstellung zu sehen:

- Braunbär (*Ursus arctos*): Fuß, Typischer Sohlengänger
- Mensch (*Homo sapiens*): Fuß mit Gewölbe

ZEHENGANG – digitigrade Lokomotion: Gegenüber dem Sohlengänger werden Fußwurzel- und Mittelfußbereich dauernd vom Boden abgehoben, so dass nur die Zehenregion Bodenkontakt erhält. Mittelfuß und Zehen werden gegeneinander abgewinkelt. Digitigrad" leitet sich vom lat. *digitus* - Finger und *gradi* - schreiten ab. Zehengänger sind die meisten Raubtiere (Hunde, Katzen, Hyänen), einige Insektenfresser und viele Nagetiere. Elastische Zehen - oder Zwischenzehenpolster sind stets vorhanden, gelegentlich auch hufähnliche Nägel. Vor allem Steppenbewohner bzw. rasche Läufer zeigen - wie die meisten Huftiere - eine Reduktion seitlicher Strahlen und eine deutliche Verlängerung des Mittelfußbereichs.

In der Ausstellung zu sehen:

- Puma (*Puma concolor*): Hinterfuß, 1. Zehe rückgebildet
- Mara, Pampashase (*Dolichotis patagonum*): Hinterfuß, 1. und 5. Zehe rückgebildet

ZEHENSPITZENGANG – unguligrade Lokomtion:

Aus Nägeln oder Krallen hervorgegangene „Schuhe“ umgeben bei Huftieren lappenartig das letzte Zehenglied und bilden den Huf (lat. *ungula*). und nur dieser hat beim Zehenspitzenkontakt Die Hauptbelastung. die eine Gliedmaße erfährt, verläuft bei den Paarhufern (Artidactyla) als Achse zwischen den Strahlen 3 und 4. Diese sind stets am stärksten ausgeprägt. Zehen und Mittelfußknochen 2 und 5 erfahren unterschiedliche Rückbildung. Als Afterklauen (engl. after – hinter) wandern sie allmählich von der Seite hinter die Strahlen 3 und 4 (Schweine) und können sogar völlig verschwinden (Giraffe) Man beobachtet eine weitgehende Abhängigkeit zwischen Rückbildung der Strahlen einerseits sowie Lebensraum bzw. Bodenstruktur und Geschwindigkeit andererseits. Ähnlich wie der sprintende Mensch vom Sohlen- zum Zehengang übergeht, so erfolgt bei Tieren, die auf festerem Untergrund leben (Gebirge, Steppe) und hohe Geschwindigkeiten erreichen, eine zunehmende Abhebung von Fußwurzel und Mittelfuß vom Boden

In der Ausstellung zu sehen:

- Hausschwein (*Sus scrofa domesticus*): Hinterfuß, 2. und 5. Zehe als Afterklauen
- Rothirsch (*Cervus elaphus*): Hinterfuß, 2. und 5. Zehen rudimentär, Mittelfußknochen 3 und 4 zum Kastenbein verwachsen

Im Gegensatz zu den Paarhufern verläuft die Achse der Hauptbelastung bei den Unpaarhufern durch den mittleren (3.) Strahl. Dieser bleibt bei Pferd, Zebra und Esel als einziger erhalten (Einhufer), die Mittelfußknochen des 2. und 4. Strahls sind als schmale Stäbe (Griffelbeine) erhalten. Die Füße vom Nashorn tragen ebenso wie die Hinterfüße des Tapirs noch drei Zehen. Eine noch ursprünglichere Situation zeigen die vierzehigen Vorderfüße vom Tapir, damit entspricht dieser in der Zehenzahl dem Urpferdchen *Hyracotherium*. Wie bei den Paarhufern erfolgt bei dem Übergang vom Wald zur Steppe eine Verlängerung des Mittelbereichs, und es werden bei Zunahme der Geschwindigkeit die seitlichen Strahlen reduziert.

In der Ausstellung zu sehen:

- Flachland-Tapir (*Tapirus terrestris*): Hinterfuß, 1. und 5. Strahl rückgebildet
- Hauspferd (*Equus caballus*): Hinterfuß, 2. und 4. Mittelfußknochen = Griffelbeine

SPRINGEN ist das Überwinden mehr oder weniger großer Entfernungen durch kräftiges Abstoßen von festem Substrat. Sogar Fische – wie die Schlammpringer – sind in der Lage, an Land durch Schleuderbewegungen ihres muskulösen Schwanzes Luftsprünge von mehr als einer Körperlänge zu vollführen. ZIELSPRINGEN erfolgt z.B. als Beutesprung (Katze), im Geäst der Bäume (Eichhörnchen) oder im Felsgelände (Gämse). LAUFSPRINGEN zeigen mehrere Antilopen und Hirsche; dabei werden während einer raschen Gangart in unregelmäßiger Folge weite Sätze eingelegt. Schnellen sich dabei die Tiere – mit allen vier Gliedmaßen gleichzeitig abstoßend – weit nach oben, so spricht man vom PRELLSPRUNG (Springbock, Mara); dieser dient z.B. in hohem Gras zur Beobachtung einer Gefahrenquelle. Eine weitere Modifikation des Laufspringens ist das Hakenspringen (Hakenslagen) vom Hasen.

Während ein springender Frosch meist auf den Vorderbeinen oder auf seinem Bauch landet, berühren beim echten BIPEDEN HÜPFEN (= zweibeinigen SPRINGEN) nur die Hinterfüße den Boden. Typische bipede Springer sind die meisten Kängurus, mehrere Nager (Spring- und Hüpfmäuse); auch einige Primaten wie z.B. Galagos können weitere Strecken hüpfend zurücklegen. Bei ihnen ist der Fußbereich – vor allem der Mittelfuß – stark verlängert, sie zeigen eine Rückbildung der seitlichen Zehen sowie eine allgemeine Verkürzung der Vorderbeine, viele Formen haben einen langen Balancierschwanz.

In der Ausstellung zu sehen:

- Kolumbianische Riesenkröte (*Bufo blombergi*): Hintergliedmaße; Tibia und Fibula verschmolzen = Os crucis (mit grüner Raute markiert)
- Bennettwallaby, Rotnackenkänguru (*Notamacropus rufogriseus*): Hintergliedmaße; 1. Strahl völlig reduziert, 2. und 3. Strahlen zu Putzkrallen (mit blauem Kreis markiert)

Unter **KLETTERN** im weitesten Sinne versteht man Fortbewegungsweisen entgegen der Schwerkraft, z.B. an Felswänden, an Baumstämmen oder im Geäst.

Äußerst vielfältig sind Anpassungen, die eine Fixierung der Hände bzw. der Füße auf dem Untergrund ermöglichen. Dies reicht vom einfachen KRALLENKLETTERN (Eichhörnchen) über das KLEB- oder BALLENKLETTERN (Schliefer, Geckos, Laubfrösche) bis zum KLAMMER- oder GREIFKLETTERN (viele Affen). Bei Koalas und Chamäleons werden 1. und 2. Finger bzw. Zehe den übrigen gegenübergestellt, so dass eine Greifklammer entsteht. Spezialformen: SCHWINGKLETTERER, wie z.B. Gibbons, erfahren eine allgemeine starke Streckung aller Knochen der Vordergliedmaßen. Bei Faultieren, typischen HANGELKLETTERERN, tragen die letzten Zehenglieder lange Krallen und sind zu Greifhaken umgewandelt.

Mehrere Vierfüßer bildeten ihre Schwänze zu Greiforganen um (z.B. Klammeraffen, Kletterbeutler, Chamäleons). Kletternde Vögel haben neben mit Krallen bewehrten Greiffüßen einen Stützwanz wie Spechte und benutzen -wie Papageien - ihren Schnabel als 3., „Kletterfuß“

In der Ausstellung zu sehen:

- Senegal-Buschbaby (*Galago senegalensis*): Vordergliedmaße, Greifklammer
- Zweifingerfaultier, Unau (*Choloepus didactylus*): Vordergliedmaße; 5. Strahl völlig, 1. und 4. weitgehend rückgebildet
- Weißhandgibbon, Lar (*Hylobates lar*): Vordergliedmaße

Alle unterirdischen Fortbewegungsweisen durch aktive Erdbewegungen bezeichnet man als **GRABEN** oder **WÜHLEN**. Dient der ganze Körper als Motor, d.h. drängt sich dieser unter Schlängelbewegungen durch das Substrat, so spricht man vom Wühlen; typische Wühler sind mehrere Schlangen und Echsen (z.B. Skinke), einige Amphibien (Blindwühler) und Fische (z.B. Schmerlen). Zum Graben benötigt man stets Gliedmaßen, die mit kräftigen Krallen bewaffnet sind. Klassische Gräber sind die sogenannten Maulwurf-Typen wie Maulwürfe und Goldmulle (Insektenfresser), Gürtelmulle (Nebengelenktiere/ Gürteltiere) und Beutelmulle (Beuteltiere); vielfach „schwimmen“ sie geradezu durch Sand oder lockere Böden, ohne dass ein Gang erhalten bleibt.

Dagegen geschieht das SCHARRGRABEN, wie es z.B. von Kaninchen ausgeübt wird, mehr oberflächlich oder zum Bau einer Höhle. Als Mischtyp muss das SPITZHACKENGRABEN vom Riesengürteltier angesehen werden. Sonderbildungen wie hornige Grabschwielen oder Grabschaukeln findet man an den Hinterfüßen vieler Kröten, die sich rückwärts in den Boden eingraben können.

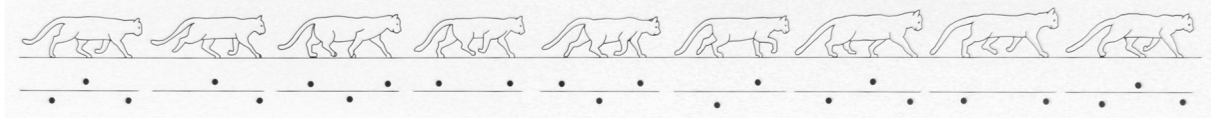
In der Ausstellung zu sehen:

- Riesengürteltier (*Priodontes giganteus*): Schulterblattfortsatz (Cromion) mit zusätzlicher Gelenkfläche (mit graublauem Pfeil markiert)
- Maulwurf (*Talpa europaea*): Os falciforme, ein Sesambein, funktionell zu „6. Finger“

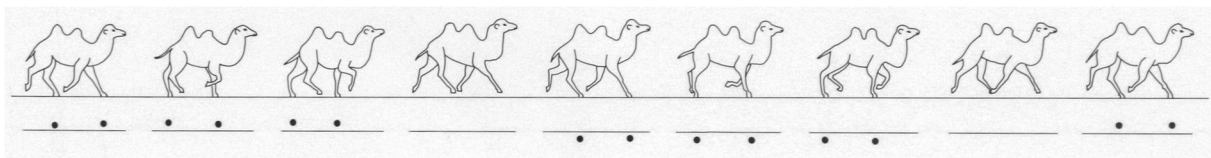
GANGARTEN

Unter einer Gangart versteht man die rhythmische Folge bestimmter Gliedmaßenstellungen während der Fortbewegung am Boden. Dabei folgen einer Stützphase, wobei die Gliedmaße Bodenkontakt hat, eine Hebe- und eine Schwungphase. Gangarten sind mehr oder weniger an bestimmte Geschwindigkeiten gebunden. Als die Grundgangarten gelten Schritt, Pass, Trab und Galopp.

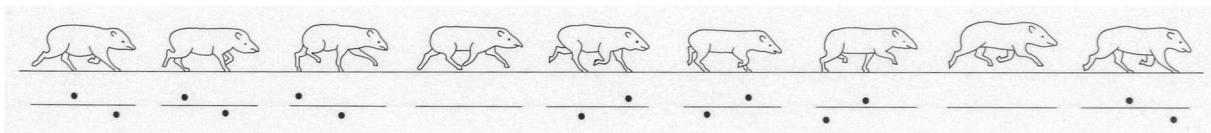
Der SCHRITT ist die langsamste Gangart. Hierbei wird der Körper durch zwei, drei oder vier Beine gleichzeitig gestützt. Jeder Fuß setzt unabhängig von den anderen auf, so dass eine Bewegung im Viertakt entsteht. Gleichseitige Gliedmaßen fußen aufeinanderfolgend, - die Beckengliedmaße stets vor der Schultergliedmaße.



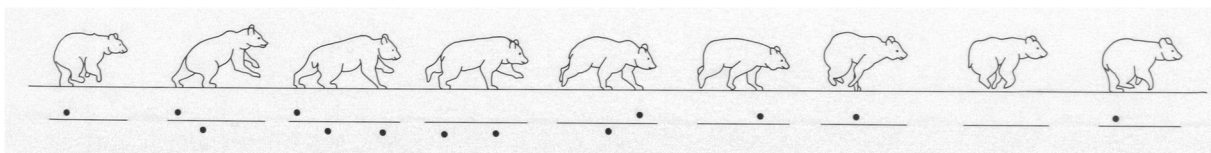
Der PASS ist eine Gangart mittlerer Geschwindigkeit, bei der die Gliedmaßen einer Körperseite gleichzeitig bewegt werden. Dabei wird der Schwerpunkt möglichst weit auf die stützende Seite verlagert, was dazu führt, dass der Rumpf „schaukelt“. Typische Passgänger, wie z. B. Kamel, Giraffe oder Mähnenwolf, haben meist sehr lange Gliedmaßen. Das gemeinsame Vorschwingen der Extremitäten einer Seite verhindert eine Kollision zwischen Vorder- und Hinterbeinen.



Der TRAB ist ebenfalls eine Gangart mittlerer Geschwindigkeit. Es werden die beiden schräg gegenüberliegenden (= diagonalen) Gliedmaßen gleichzeitig bewegt. Wie der Pass ist auch der Trab eine Zweitakt-Bewegung. Der Körper wird durch diagonale Gliedmaßen besser ausbalanciert als durch gleichseitige, so dass der Trab „stabiler“ ist.



Der GALOPP stellt die schnellste Gangart dar, während der meist auftretenden Schwebephase(n) bleibt der Körper ohne Bodenkontakt. Jede Gliedmaße führt eine unabhängige Bewegung aus, ohne dass, wie bei den anderen Gangarten, eine Wiederholung durch die übrigen Gliedmaßen erfolgt.

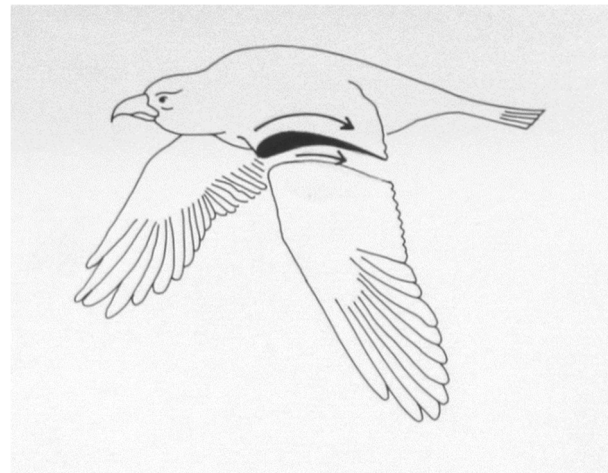


Die vorgestellten Grundgangarten sind keinesfalls starr, sondern sie werden in ihrer spezifischen Ausbildung von Anatomie, Körpergewicht, Stammesgeschichte, aber auch vom Lebensraum der betreffenden Tierart beeinflusst. So entwickelte sich im deckungsfreien Gelände der schnelle und ausdauernde Läufer; dagegen sind im Wald oder auf felsigem Untergrund präzise kalkulierte Sprünge und Wendungen von größerem Wert als hohe Geschwindigkeit.

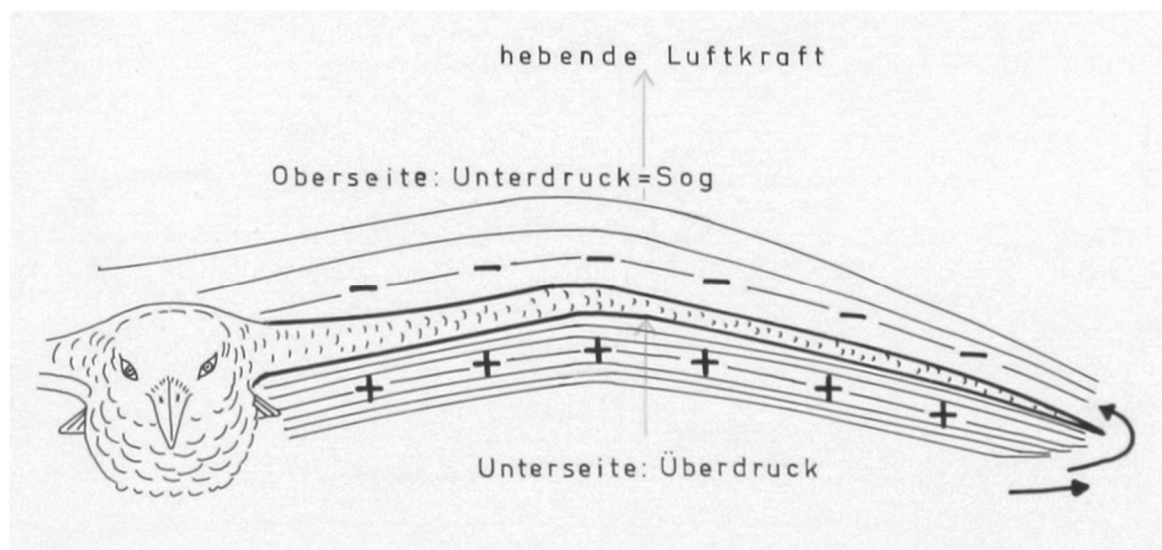
FLIEGEN

Unter FLIEGEN versteht man Fortbewegungsweisen im Luftraum mit Ausnahme des senkrechten Falls. Flugfähige Wirbeltiere sind neben Vögeln und Fledertieren (Fledermäuse und Flughunde), sowie den ausgestorbenen Flugsauriern, die Beilbauchfische (Gasteropelecidae) der Süßgewässer Tropisch-Amerikas. Beim aktiven Flug erfolgt die Lokomotion mit Hilfe schlagender Flügel, d.h. durch Flughäute (Patagien) oder Federn flächig verbreiteter Vordergliedmaßen bzw. Brustflossen. Dem gegenüber sind Gleiten oder Segeln passive Lokomotionsformen; Federn oder andere Hautstrukturen setzen die Sink- oder Fallgeschwindigkeit herab. So sind z.B. die „Fliegenden Fische“ (Exocoetidae) reine Gleitflieger, mit hoher Geschwindigkeit durchstossen sie die Wasseroberfläche, spreizen ihre überdimensionalen Brust- z.T. auch Bauchflossen und vermögen über 50 m weit durch die Luft zu gleiten. Beim Flugfrosch (*Polypedates*) verringern extrem vergrößerte Schwimmhäute die Sinkgeschwindigkeit erheblich. Zwischen Vorder- und Hintergliedmaßen spannen sich – gestützt durch verlängerte Rippen – Gleithäute des Flugdrachens (*Draco*), einer kleinen Agame. Auch bei Säugetieren findet man innerhalb mehrerer Ordnungen ähnliche „Fallschirme“ (Flughörnchen, Riesengleiter und Flugbeutler).

Beim FLIEGEN muss die Wirkung der Erdanziehungskraft durch eine gleich große Gegenkraft aufgehoben werden. Ein nach oben gewölbter Flügel wird von Luft umströmt. Der Weg der Luft über die Wölbung der Flügeloberseite ist stets länger und strömt daher rascher als der um die Unterseite (siehe Pfeile). Die schnelle Strömung oben und die langsame unten lassen zusammen die hebende Luftkraft entstehen. In der oberen Strömung herrscht ein Sog oder Unterdruck; umgekehrt entsteht auf der Unterseite – bei der langsamen Luftgeschwindigkeit – Überdruck. Die Luft ist bestrebt, einen Druckausgleich zwischen der Unter- und der Oberseite des Flügels herbeizuführen. Diese Ausgleichströmung findet an den Flügelenden statt. Dadurch entstehen Wirbel, die den Vogel bremsen.



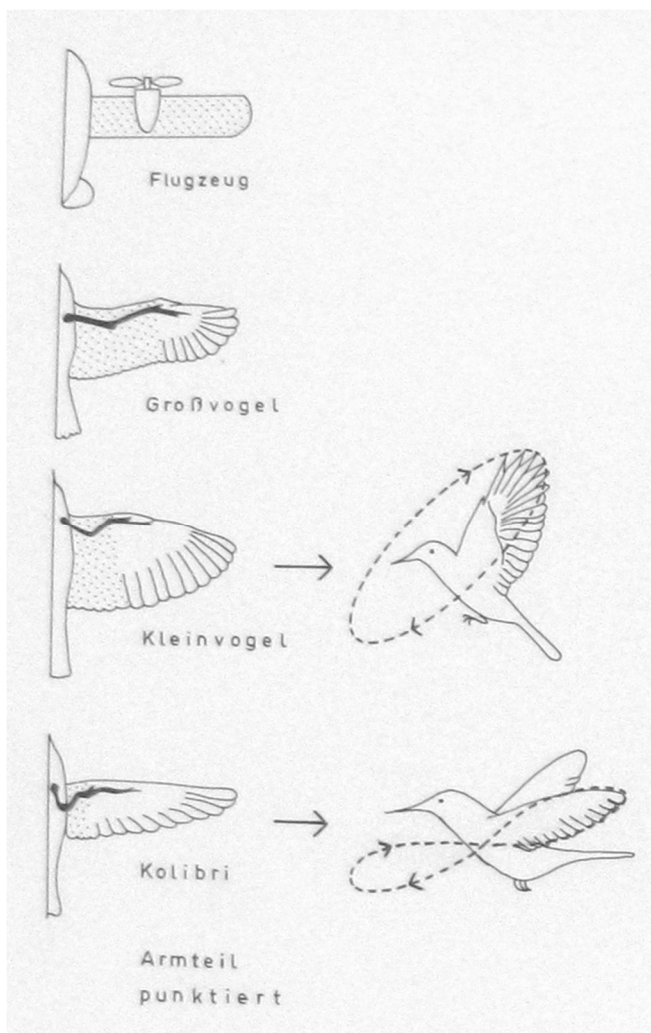
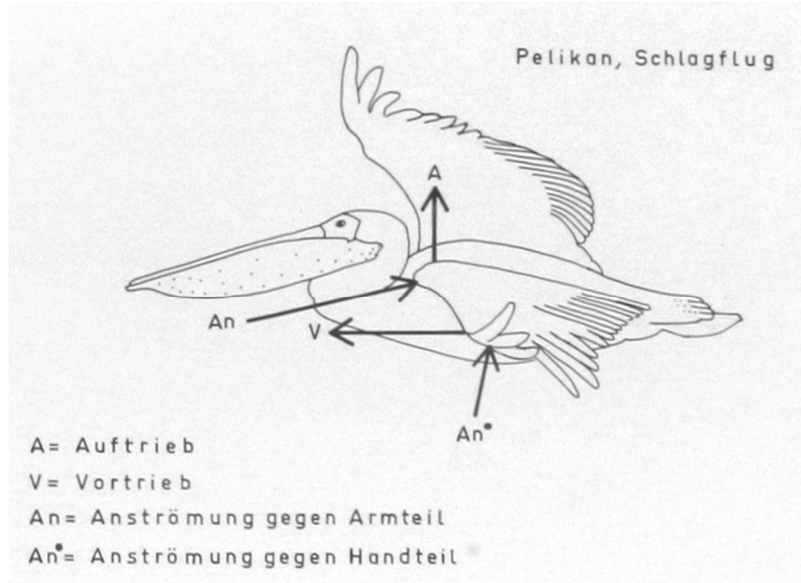
An Flügeln mit breiter Seitenfläche fließt entsprechend viel Ausgleichsstrom, an spitz zulaufenden Flügeln wie z. B. bei Mauerseglern nur wenig. Daher verringern viele Vogel mit breiten Flügelseiten wie z. B. Bussarde diese Flächen durch Auffingern der spitz zulaufenden Handschwingen.



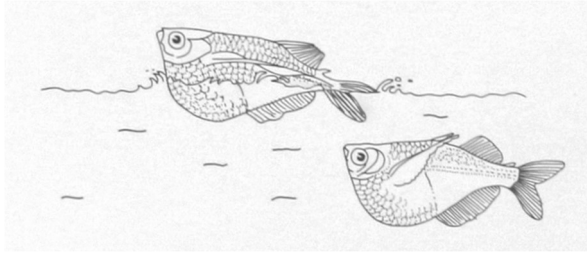
Ausgleichströmung am Flügelende

AKTIVES FLIEGEN

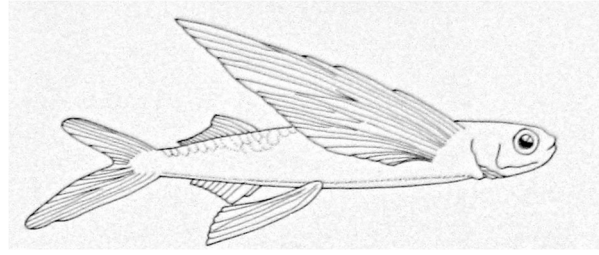
Vögel erzeugen durch Flügelschlag Wind, den sogenannten Schlagwind. Beim Abschlag eines Flügels entsteht am Handteil starker Vortrieb (V), der den Vogel durch die Luft zieht. Der Handteil entspricht damit dem Propeller eines Flugzeuges. Anders trifft die anströmende Luft (An) auf die körpernahen Flügelteile (Armteile); hier entsteht ein starker Auftrieb, als hebende Luftkraft bezeichnet. Bei einem Flugzeug entsprechen die Tragflächen den Armteilen. Gut ausgebildete Tragflächen (=viel Auftrieb) sind insbesondere bei großen und schweren Vögeln von Bedeutung.



Kleine Vögel, die nicht so leicht absinken wie schwerere, haben größere Schwierigkeiten bei der Vortriebserzeugung, da ihre verhältnismäßig große Oberfläche sich an der Luft stärker reibt und sie damit abbremst. Zusätzlich ist ihre Masse so gering, dass der Schwung nicht sehr weit reicht; viele Kleinvögel, wie Meisen, Schnäpper oder Finken lösen dieses Problem durch Ausbildung eines großen Handfittichs, der den überwiegenden Teil der Flügelfläche darstellt. Kleinvögel entsprechen somit Flugzeugen mit riesigen Propellern und winzigen Tragflächen. Dies gilt auch für Kolibris, die ihre winzigen Flügel mit hoher Geschwindigkeit bewegen (bis zu 80 Schlägen/sec.). Während die Bahn der Flügelspitze z.B. beim Rotschwanz eine Ellipse beschreibt, entspricht diese Figur beim Kolibri einer liegenden acht (∞). Der Kolibri faltet gegenüber einem Singvogel seine Flügel beim Aufschlag nicht, er schlägt sie vor und zurück und zwar so, dass sie stets gegen die Vorderkante angeströmt werden. Die Flügel sind beim Auf- und Abschlag gleichermaßen nach oben gewölbt, so dass auch beim Rückschlag hebende Luftkraft entsteht. Kolibris sind mit dieser Flugtechnik und ihrer hohen Flügelschlagfrequenz Flieger mit dem besten Manövriervermögen.



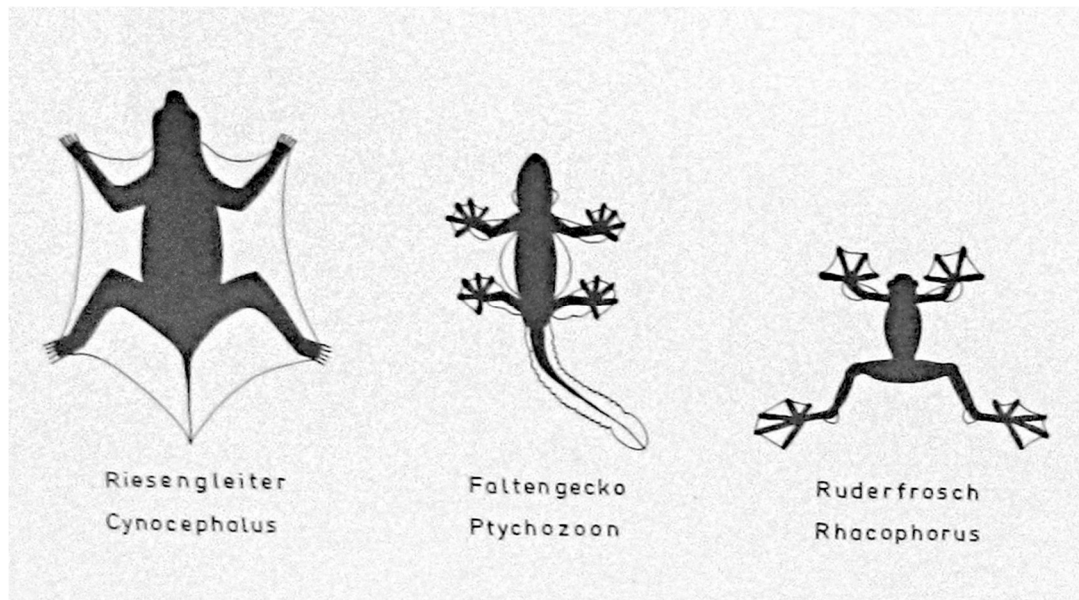
Beilbauchfische (Familie Gasteropelecidae),
einzige aktiv flugfähige Fische



„Fliegender Fisch“ (Gattung *Cypselurus*, Familie
Exocoetidae)

PASSIVES FLIEGEN

GLEITEN ist Fliegen ohne Flügelschlag in einer kontinuierlich absinkenden Flugbahn. Für das Gleitverhalten entscheidend ist die Flächenbelastung, d.h. das Verhältnis von auftriebserzeugender Tragfläche zu abwärtsziehendem Gewicht. Typische Gleiter sind neben einigen Säugern (Beutelflughörnchen, Riesengleiter, Dornschwanzhörnchen) auch Reptilien (Flugdrache, Gleitschlange, Faltengecko) und Amphibien (Flugfrosch), eine Anzahl von Fischen (z.B. Exocoetidae).



SEGELN bedeutet Gleiten in Aufwinden. Vögel sinken zwar auch beim Segeln ab, aber nur relativ zur umgebenden Luft, was bedeutet, dass sie in Bezug auf die Erdoberfläche steigen. Das Thermiksegeln eines Geiers geschieht in thermischen Aufwinden. Eine besondere Art der Fortbewegung der Albatrosse über dem Meer stellt das dynamische Segeln dar: über dem Meer steigt die Windgeschwindigkeit mit zunehmender Höhe regelmäßig an, d.h. je weiter der Abstand von der Meeresoberfläche, desto schneller die Luftströmung. Albatrosse steigen gegen den Wind und kommen in immer raschere Winde, die den Vogel emportragen. Schräg zum Wind gleiten die Albatrosse abwärts, um sodann das Aufwärtsschrauben erneut zu beginnen.