Bei der Betrachtung der Bewegungsapparate und ihrer Verrichtungen kann man sehr verschiedene Gesichtspunkte verfolgen und je nach dem Standpunkte, von dem man ausgeht, gliedern sich die mannigfaltigen Formen in sehr verschiedener Weise.

Man könnte beispielsweise die Bewegungsapparate betrachten nach ihrem Vorkommen bei den Pflanzen und Tieren und von den Bewegungsapparaten der Tiere die der Säugetiere, der Vögel, der Reptilien, Amphibien und Fische, die der Insekten u. s. w. für sich betrachten. Eine solche Betrachtung würde sich dem Gange der systematischen Zoologie und Botanik anschliefsen, sie würde die verschiedenen Bewegungen eines Thieres zusammen behandeln; gleichartige Bewegungen dagegen morphologisch verschiedener Formen würden vollständig getrennt von einander zur Besprechung kommen. Die ganze Einteilung des Gegenstandes wäre also eine durchaus künstliche, weil einem dem einzuteilenden Gegenstande fremden Gebiete entlehnt.

Besser ist schon die Einteilung, die erhalten wird, wenn man die Medien, welche die für die Ortsbewegung erforderlichen Stützpunkte gewähren, zum Einteilungsprinzipe wählt. Dieses Einteilungsprinzip liegt der im gewöhnlichen Leben üblichen Unterscheidung zwischen Gehen, Schwimmen und Fliegen zu Grunde; man glaubt eben, diese drei Formen der Bewegung seien vollkommen verschieden von einander.

Sehen wir aber einen Taucher (Colymbus) mit ausgebreiteten Flügeln eilig durch das Wasser schwimmen und dann sich flatternd in die Luft erheben, sehen wir einen Hund am Ufer entlang laufen und dann durch das Wasser „pudeln", sehen wir eine Ringelnatter bald auf dem Lande, bald im Wasser „schlängelnd" kriechen, so erkennen wir leicht, dafs diese Tiere die ihnen gewohnte Bewegungsform beibehalten, auch wenn sie das Medium wechseln; d. h. die Bewegung kann unverändert dieselbe sein, ob ein Tier geht, schwimmt oder fliegt.

Diese Art der Klassifikation ist indessen noch aus einem anderen Grunde zu verwerfen; es werden nämlich bei dieser Einteilungsart nicht nur vielfach gleichartige Bewegungen mit verschiedenen Namen belegt, sondern es werden auch umgekehrt bei ihr Bewegungen, die fast gar keine Ähnlichkeit mit einander haben, durch gleiche Benennungen einander gleichgestellt. So bezeichnet man es als Schwimmen, wenn ein Delphin mit riesiger Kraft das Wasser schlägt, so dafs er wie im Spiele sich tummelnd das schnellfahrende Schiff umkreist; und bezeichnet es ebenfalls als Schwimmen, wenn eine Süfswasserschnecke regungslos an der Oberfläche des Wassers haftet. Man nennt es Fliegen, wenn eine Spinne auf ihrem dünnen Fädchen durch die Luft segelt, wenn die Federkrone einer korbblütigen Pflanze vom Winde hin- und hergetragen wird, und andererseits nennt man es gleichfalls Fliegen, wenn eine Schwalbe sich mit kräftigen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Flügelschlägen durch die Luft schnellt, und ein Adler oder Storch in grofsen Kreisen und ohne einen Flügelschlag zu thun dem Winde entgegenschwebt. — Es ist somit auch diese Einteilung in mehr als einer Beziehung mangelhaft.

Vergleichen wir nun die verschiedenen Bewegungserscheinungen in bezug auf ihre Richtungen, so sehen wir die Bewegungen bald auf eine Linie oder auf eine Ebene beschränkt, oder auch nach allen drei Richtungen des Raumes frei verlaufen.

Unsere Eisenbahnzüge bewegen sich nur auf der gegebenen Linie, ohne die Möglichkeit einer Abweichung nach rechts und links, nach oben und unten; ebenso wandern die grofsen Dickhäuter der Tropen, die Elefanten und Nashörner in festgetretenen schmalen Bahnen; so jagt auch in unserem Boden der Maulwurf in engen Laufröhren nach Engerlingen und Regenwürmern.

Hier wird der Nachteil, dafs die Beweglichkeit nach anderen als der gerade vorgeschriebenen Richtung gehindert ist, durch die Vorteile aufgewogen, die eine schnellere und mühelosere Fortbewegung gewährt. Indessen sind diese Fälle, wo die Bewegung nur in einer Richtung vor sich gehen kann, im Tierreiche äufserst selten. Sehr viel häufiger findet sich schon der Fall, dafs die Bewegung in einer Ebene frei ist.

Ebenso wie unsere Segelschiffe und Dampfer die Fläche des Meeres frei durchfurchen, so bewegen sich die zahlreichen Säugetiere, sowie die Laufvögel auf der Fläche des Festlandes. — Die weitaus gröfste Zahl der Tiere ist nicht auf diese Bewegung in einer Fläche beschränkt, sondern besitzt wirklich eine freie Bewegung nach allen Richtungen hin. Das zahllose Heer der Würmer in der Erde, der Fische im Wasser, der Vögel und Insekten in der Luft, — sie zeigen uns in unzähligen Beispielen, in welcher Weise die Natur die Bewegung nach allen drei Richtungen des Raumes erreicht. [Der Mensch ist bis jetzt noch nicht über die ersten Versuche, die Bewegung nach allen drei Richtungen des Raumes zu erreichen, hinauszukommen. Die Konstruktion von unterseeischen Fahrzeugen sowie von Taucheranzügen sind solche Versuche. Sie sind recht unbeholfen, da der Mensch bei dem Bau seiner Atemapparate keinen Aufenthalt in anderen Medien, als der Luft erträgt.]

Die Einteilung nach den Richtungen der Bewegung erweist sich als wenig geeignet, da fast alle Bewegungen nach allen drei Richtungen des Raumes frei sind. Es kann uns somit auch diese Klassifikation nicht genügen; wir werden eine andere suchen müssen und zwar werden wir eine wirklich natürliche Einteilung nur dann erhalten, wenn wir die Mechanik der Bewegungen als Prinzip der Einteilung wählen. Nur dadurch kann es gelingen, Ordnung in das Chaos von verschiedenen Formen zu bringen.

Zwei Hauptarten von Bewegungen lassen sich zunächst unterscheiden: Die Bewegungen, welche eine eigene Thätigkeit des Organismus voraussetzen, die aktiven Bewegungen, und die, welche nur durch bewegte äufsere Medien auf den Organismus übertragen werden, die passiven Bewegungen.

In gröfster Mannigfaltigkeit finden sich die Mittel für die letztere Art der Locomotion, zumal die passive Bewegung durch die Luft im Pflanzenreiche. Keines der Mittel, die geeignet sind, um solche Transporte zu bewirken, bleibt unverwendet.

Da der Widerstand, den ein Körper der Fortbewegung durch die Luft entgegenstellt, abhängt von dem Verhältnisse, das besteht zwischen seinem Gewichte und der Oberfläche; da das Gewicht selbst aber wiederum abhängt von der Gröfse des Körpers und seinem spezifischem

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Gewichte, so giebt es drei Möglichkeiten die Transportfähigkeit eines Körpers durch bewegte Luft zu erhöhen. Diese Mittel sind die Verringerung der Gröfse des Körpers, die Verkleinerung seines spezifischen Gewichtes und die Vergröfserung seiner Oberfläche.

Von zwei Körpern, die dasselbe spezifische Gewicht und ähnliche Körperform haben, erfährt der kleinere den relativ gröfseren Druck des Mediums, da sich das Gewicht im kubischen Verhältnisse, die Oberfläche dagegen nur im quadratischen Verhältnisse verringert; sein Widerstand also proportional ist seiner Dicke. Je kleiner also ein Körper ist, desto leichter wird er durch ein bewegtes Medium fortgeführt, desto langsamer fällt er in demselben.

Das Wasser eines Baches rührt, wenn es langsam fliefst, nur die allerfeinsten Schlammteilchen vom Grunde auf; bei steigender Geschwindigkeit der Wasserströmung bewegt es gröfsere und immer gröfsere Sandteilchen und schwillt der Bach durch heftige Regengüsse zum reifsenden Wildwasser an, so vermag er selbst gröfsere Felsstücke fortzuschieben. — In genau derselben Weise und nach genau denselben Gesetzen wirkt nun auch die Luft auf die Pollenkörner und Sporen, die Samen und Früchte der Pflanzen und auf die oft mikroskopisch kleinen Eier der Tiere. —

Und wie das bewegte Wasser eines Flusses, wenn es die Geschwindigkeit seines Laufes mäfsigt, die mitgeführten Sandkörner stets so absetzt, dafs es die zuletzt gehobenen gröfsesten Erdpartikelchen zuerst fallen läfst, die feinsten Teilchen dagegen am weitesten trägt, so entführt auch der Hauch des Windes die Keime der Organismen um so weiter, je kleiner sie sind. — So kommt es, dafs die kleinsten dieser Keime, die Sporen der Pilze und Bakterien, überall verbreitet sind.

In diesen Fällen wird also durch die Verringerung der Gröfse die Transportfähigkeit gesteigert und ermöglicht, dafs ein Körperchen selbst durch geringe Luftbewegung weit fortgetragen wird; ebenso wirkt in anderen Fällen die Verringerung des spezifischen Gewichtes durch in den zu transportierenden Körpern angebrachte Hohlräume. — Auch hier sind es namentlich Pflanzenteile, die so verbreitet werden; während aber bei den Körpern ohne Hohlräume, deren spezifisches Gewicht also etwa dem des Wassers gleichkommt, ein Transport durch die Luft nur bei sehr geringer Körpergröfse möglich erscheint, ist die Natur bei den Körpern, die spezifisch leichter sind als das Wasser, lange nicht mehr in demselben Mafse an die allerkleinsten Dimensionen gebunden. — Zumal bei den Pollenkörnern finden sich solche Hohlräume häufig; wohl am schönsten bei denjenigen Nadelhölzern (z. B. Pinus), bei denen die äufsere Haut des Pollenkornes, sich zu zwei grofsen blasigen Aufschwellungen emporwölbt. Oft erreicht bei ihnen jede dieser beiden Aufschwellungen die Gröfse des eigentlichen Pollenkornes und es wird somit, ohne dafs die Vergröfserung der dünnen Aufsenhaut eine wesentliche Gewichtsvermehrung herbeiführt, das Volum des Körpers verdreifacht und somit seine dem Winde gebotene Fläche beträchtlich vermehrt. Da bei den Nadelhölzern die Übertragung des Blütenstaubes noch ganz und gar dem Winde überlassen ist (nicht wie bei den allermeisten höheren Pflanzen durch Insekten vermittelt wird), so erscheinen gerade bei ihnen derartige Vorrichtungen zur Erhöhung der Flugfähigkeit besonders notwendig.

Eine Steigerung der Transportfähigkeit wird in den erst angeführten Fällen erreicht durch Verringerung der Körpergröfse (bei gegebener Form und gegebenem spezifischen Gewichte); bei den Pollenkörnern der windblütigen Pflanzen wird sie erreicht durch die Vergröfserung des Volums bei unverändertem Gewichte, d. h. also durch die Verkleinerung des spezifischen Gewichtes,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

dasselbe wird nun aber auch, ohne dafs das Volum und das spezifische Gewicht sich verändert, durch eine Vermehrung der Oberfläche erreicht.

Bald ist es, wie beim Kiefernsamen oder dem Fruchtstande der Linde, eine einfache Hautvergröfserung, die das Fliegen ermöglicht; bald sind es zierlich verzweigte Federkronen, wie bei den Früchten der korbblütigen Pflanzen. In zahlreichen Beispielen führt uns in dieser gröfsten aller Pflanzenfamilien die Natur Gestalten vor, welche mit höchster Ökonomie im Aufwande an Material die gröfseste Flugfähigkeit verbinden. Zumal die Scorzoneren und der Löwenzahn zeigen uns Konstruktionen von Fallschirmen von allergröfster Leistungsfähigkeit und so grofser Zierlichkeit, dafs sie selbst die Aufmerksamkeit von solchen auf sich ziehen, die sonst an allen Wundern der Natur stumpf vorbeigehen. Auf dem Samen erhebt sich hier ein langer, dünner Stiel; derselbe ist oben mit zahlreichen bald einfachen, bald verzweigten haarfeinen Spitzchen besetzt, die nach allen Seiten in einer Ebene ausstrahlen und je nachdem, ob sie gekrümmt oder gerade sind, bald die Form eines Bechers, bald die eines mit der Spitze abwärts gerichteten stumpfen Kegels nachahmen. Bei diesen Federkronen der Kompositen ist interessant und wichtig für diejenigen, welche eine Konstruktion eines möglichst praktischen Fallschirmes suchen, dafs die Natur uns in diesen vollkommensten aller denkbaren passiven Flugvorrichtungen stets Fallschirme zeigt, die nach oben, nie solche, die nach unten geöffnet sind. — Die Natur hat somit die Frage, wie die Fallschirme zu konstruieren sind, ob nach dem Systeme von Lenormand, d. h. in Form eines aufgespannten Regenschirmes, oder nach dem von Cocking, der die Form eines umgeklappten Regenschirmes wählte, zu gunsten des letzteren Systems entschieden.

Alle die bisher besprochenen Einrichtungen haben das gemeinsam, dafs sie für ihre Wirksamkeit ein bewegtes Medium zur Voraussetzung haben. — In windstiller Luft gehen die Blütenstaubkörner der Gräser nutzlos verloren. Schon längst zeigte die Naturbeobachtung den Bauern, dafs nur, wenn während der Zeit der Kornblüte ein leichter Wind das Getreide gleichmäfsig bewegt, wenn „die Roggenmuhme durch das Korn geht", auf einen guten Ansatz von Samen zu rechnen ist. Wie die Pollenkörner der Gräser verhalten sich auch die der Nadelhölzer, die Sporen der Pilze und die geflügelten Samen; ohne den bewegenden Wind können auch die schönsten Federkronen der Kompositen die Pflanzen nicht ausbreiten. — So wenig wie im ruhenden Wasser das Rad einer Wassermühle geht, wie sich in ruhender Luft eine Windmühle, ein Drachen, ein Segelschiff bewegt, so wenig sind die für die passive Ortsbewegung dienenden Vorrichtungen zur selbständigen Erhebung und Fortbewegung durch die Luft geeignet.

Und noch ein zweiter Übelstand ist mit diesen Einrichtungen untrennbar verbunden. Die Apparate für die passive Bewegung bewirken wohl bei kräftigem Winde eine weite Verbreitung der Organismen; aber die Eier und Sporen, die Samen und Früchte fliegen hin, wo sie Wind und Wasser gerade hintragen. — Auch die kleinen Spinnen, die im Herbste in Menge durch die Luft fahren, können weder die Richtung bestimmen, in der sie fliegen wollen, noch die Fahrt unterbrechen, wann es ihnen beliebt; sie werden daher auch häufig über 100 Kilometer weit über das Meer getragen und finden dabei in Menge ihren Tod.

Bei dieser Unvollkommenheit der Apparate für die passive Ortsbewegung ist es begreiflich, dafs dieselbe eine verhältnismäfsig so beschränkte Anwendung gefunden hat, dafs sie namentlich fast nie zum Transporte von Tieren der höheren Ordnungen verwendet wird.

Die Möglichkeit einer Erweiterung der Mittel zur Fortbewegung ist gegeben dadurch, dafs

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

die organischen Gewebe, zumal ganz allgemein die des Tierkörpers einer eigenen Thätigkeit fähig sind. — Ausnahmslos ist es sowohl bei tierischen wie bei pflanzlichen Bewegungserscheinungen eine contractile Substanz, die die Verschiebung der Teilchen bewirkt. Sie verändert die Gestalt der Oberfläche des Organismus und je nach der Art der Formveränderung der Oberfläche entstehen die verschiedensten Einwirkungen des Organismus auf das umgebende Medium — das organische Wesen selbst übt auf das berührende Medium einen Druck aus, und so entsteht durch die Gegenwirkung die aktive Ortsbewegung.

Die Formänderung äufsert sich entweder in einer blofsen Volumveränderung oder in einer Veränderung der Stellung der Teilchen zu einander; ihre Wirkung ist im ersten Falle ein statischer Druck, im zweiten Falle ein dynamischer Druck.

Die Vorrichtungen für die Fortbewegung organischer Körper durch statischen Druck sind in der Natur auf das Wasser beschränkt und sie müssen es sein, da das spezifische Gewicht der organischen Substanzen beinahe das des Wassers ist und da in keinem organischen Körper ein Gas vorkommt, das spezifisch leichter wäre als die Luft. — Die häufig von Laien aufgestellte Behauptung, die Insekten, Fledermäuse und Vögel flögen durch ihre Leichtigkeit, beruht auf Einbildung. Das spezifische Gewicht dieser Tiere ist ebenso grofs wie das der anderen. Allerdings schliefsen die Federn der Vögel eine Menge Luft ein, dieselbe trägt aber selbstverständlich zum Heben des Tieres in der Luft ebenso wenig etwas bei, wie der Wasserballast eines mit doppeltem Boden versehenen Schiffes den Auftrieb desselben vermehrt. Ähnlich ist es mit der in den Luftsäcken und den hohlen Knochen der Vögel enthaltenen Luft. Die Steigerung der Temperatur, die diese Luft im Körper des Tieres erfährt, bewirkt bei der unbedeutenden Menge der Luft einen so geringfügigen Auftrieb, dafs man ihn nicht in Rechnung zu ziehen braucht. Der durch die Erwärmung in den Luftsäcken und hohlen Knochen bewirkte Auftrieb beträgt bei einem Vogel von 1 Kilo Gewicht höchstens 0,2 gr also $^1/_{5000}$! — Es hat somit der Luftballon weder als Charlière noch als Montgolfière in der organischen Natur ein Analogon; dagegen findet das ihm zu Grunde liegende Prinzip für das Heben und Senken im Wasser eine gewisse, wenn auch sehr beschränkte Anwendung.

Unter den dem Leben im Wasser angepafsten Tieren sind es zumal die Fische, welche in ihren Schwimmblasen derartige Apparate besitzen. Der Körper der Fische hat ein specifisches Gewicht, welches wenig gröfser ist, als das seines Mediums, des Wassers. Die Schwimmblase gestattet nun dieses Übergewicht zu äquilibrieren und auch ein Untergewicht, einen Auftrieb herzustellen. — Indessen verlangt sie eine aufserordentliche sorgfältige Regulierung ihres Volums. Ebenso wie ein Luftballon, wenn er steigt, durch den in den oberen Luftregionen abnehmenden Luftdruck eine Ausdehnung seines Gases und somit eine bedeutende Dehnung seiner Hülle erfährt, so dehnt sich auch beim Steigen der Fische die Schwimmblase mehr und mehr aus. Da eine 10 m dicke Wasserschicht den Druck von einer Atmosphäre ausübt, so würde sich das Volum der Schwimmblase bei einem Fische der von nur 10 m Tiefe an die Oberfläche stiege verdoppeln; wenn also der Fisch nicht durch Muskeldruck der immer mehr und mehr wachsenden Pressung der Schwimmblase Widerstand leistet, so müfste entweder die Blase platzen oder das Tier durch die Ausdehnung der Blase bedeutende Verletzungen erleiden. In der That beobachtet man auch, wenn ein Fisch in grofser Tiefe an der Angel gefangen wird und zu rasch heraufgeholt wird, als dafs er eine Regulierung des Blasenvolums vornehmen könnte, dafs er mit

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ausgedehnter Blase, hervorgetriebenen Eingeweiden und gesprengter Bauchhaut an die Oberfläche kommt. — Unter normalen Verhältnissen wird dieses übermäfsige Anschwellen der Schwimmblase durch den regulirenden Muskeldruck verhindert. Es würde ja auch sonst die immer mehr und mehr zunehmende Gröfse der Schwimmblase den Fisch bei jeder noch so kleinen Aufwärtsbewegung bis an die Wasseroberfläche treiben.

Ganz ähnlich ist es beim Sinken. Wenn ein Fisch an der Oberfläche schwimmt und durch einen Druck auf die Schwimmblase sein Volum vermindert, so mufs er sinken. Dabei würde durch den Druck der mit zunehmender Tiefe immer gröfser werdenden Wassersäule die Schwimmblase immer mehr und mehr zusammengedrückt werden und der Fisch müfste zu Boden sinken, wenn er nicht durch den Zug seiner Muskeln der weiteren Zusammendrückung ein Ziel setzte. — Allerdings treten die Hebungen und Senkungen eines Fisches durch statischen Druck nur dann klar hervor, wenn derselbe seine Flossen vollständig ruhig hält. Bewegt ein Fisch seine Schwanzflosse, so dient ihm diese als Propeller und er kann dann durch die Stellung der Brust- und Bauchflossen seiner Vorwärtsbewegung leicht jede gewünschte Ablenkung von der horizontalen Richtung verleihen. Es wird somit bei diesen Bewegungen die Regulierung der Gröfse der Schwimmblase nur notwendig, um übermäfsige Zerrungen und Pressungen der Bauceingeweide zu verhindern. Es geht hieraus hervor, dafs die Schwimmblase nur eine sehr beschränkte Bedeutung hat für das Heben und Senken des Tieres, die Locomotion durch statischen Druck tritt somit beim Fische nicht rein hervor. In vollkommener Reinheit zeigt sie sich dagegen bei den im Wasser lebenden Lungenschnecken, wenn dieselben um Luft zu holen an die Oberfläche kommen. Indem diese die in der Lungenhöhlung eingeschlossene Luft durch Dehnung der die Lungenhöhle umgebenden Muskeln ausdehnen, vergröfsern sie ihr Deplacement und so schweben sie geraden Weges an die Oberfläche empor; werden sie dort beunruhigt, so pressen sie die Luft wieder in der Lungenhöhlung zusammen, verringern also ihr Deplacement und sinken auf den Boden. Es ist somit die luftgefüllte Lungenhöhlung der Schnecken und auch die Schwimmblase der Fische ein hydrostatischer Apparat. Sie sind genau nach denselben Principien gebaut wie der Luftballon und zwar kann man sie ansehen als Luftballons, welche eine Regulierung ihres Auftriebes resp. ihres Sinkens durch willkürliche Ausdehnung resp. Compression des Gases bewerkstelligen.

Diese Eigenschaft der selbständigen Regulation des Hebens und Senkens gestattet demgemäfs die Bewegung zu jeder Zeit zu beginnen und zu unterbrechen; sie bezeichnet dadurch einen grofsen Fortschritt gegenüber den Vorrichtungen zur passiven Ortsbewegung.

Dagegen fehlt den Vorrichtungen für die Bewegungen durch statischen Druck ohne Ausnahme (ebenso wie den Vorrichtungen für passive Bewegungen) die Lenkbarkeit. — In der ganzen Natur giebt es kein Beispiel dafür, dafs ein Körper ohne eigene Bewegung, d. h. ohne dynamischen Druck die Bestimmung über seine Richtung beibehält. Das Problem, einen lenkbaren Ballon herzustellen, ist daher zweifellos unlösbar, wenn man nur passiven Winddruck und statischen Druck verwendet; alle Versuche einen Ballon mit Segeln zu lenken müssen scheitern.

Erst die Fortbewegung durch dynamischen Druck verleiht dem Tiere seine vollständige Selbstbestimmung in Bezug auf Richtung, Dauer und Schnelligkeit der Bewegung. Erst bei ihr zeigt sich die grofse Mannigfaltigkeit der Organe in ihren Formen und ihren Bewegungen. Doch sind gewisse Eigenschaften allen diesen Vorrichtungen gemeinsam.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

In erster Linie die Eigenschaft der Kontraktilität der Körpersubstanz oder bei den höheren Tieren eines Teiles derselben. Bei fast allen Tieren hat diese kontraktile Substanz, das Muskelgewebe, das Aussehen zahlreicher dicht aneinander liegender, an den Enden zugespitzter spindelförmiger Fäden. Indem diese elastischen Fäden sich verkürzen und dann wieder (passiv) strecken, machen sie Bewegungen, welche mit dem in der Physik üblichen Namen der Schwingungen belegt werden können. — Aus der Art dieser Schwingungen sowie der Anordnung der sie ausführenden kontraktilen Körpersubstanz ergeben sich sodann die verschiedenen Formen der Ortsbewegung.

Die Hauptarten der hier in Betracht kommenden Schwingungen sind die Longitudinal-, Transversal-, Radial- und Torsionsschwingungen.

Wenn ein an seinem einen Ende befestigtes elastisches Seil, etwa ein Kautschukrohr, an seinem freien Ende mit einem Gewichte belastet wird, so erfährt es eine Streckung; wird nun das dehnende Gewicht entfernt, so verkürzt und verlängert es sich mehrfach und es bewegen sich dabei die einzelnen Punkte des Körpers in der Richtung seiner Längsachse hin und her; diese Bewegungsform, die Longitudinalschwingung, stellt den einfachsten Fall der Schwingungen dar.

Spannt man eine dünne möglichst biegsame Schnur von grofser Länge aus und bewegt ihr freies Ende rasch auf und ab, so sieht man die Bewegung als Wellenberg und Wellenthal auf der Schnur fortlaufen; jeder einzelne Punkt des schwingenden Körpers bewegt sich dabei in einer gegen die Längsrichtung des Körpers senkrechten Linie auf und ab; diese Bewegungsform ist die der Transversalschwingungen. Auch sie kommt in der Natur in zahlreichen Fällen vor.

Das wesentliche Merkmal der Transversalschwingungen, dafs die Bewegung der Punkte senkrecht gegen die Punktreihe erfolgt, findet sich wieder bei solchen Bewegungen, die durch wechselnde Zusammenziehungen und Ausdehnungen ringförmiger Muskeln erfolgen. Ein jeder Punkt eines solchen Muskels bewegt sich senkrecht zur Tangente des durch den Muskel gebildeten Kreises. Man könnte diese Radialschwingungen demgemäfs als eine besondere Form von Transversalschwingungen betrachten.

Die wichtigste und zumal bei den höheren Tieren fast ausschliefslich angewandte Art der Bewegungen sind die Torsionsschwingungen. Diese werden erhalten, wenn man ein biegsames Seil von bedeutender Länge am einen Ende befestigt und das andere Ende rasch im Kreise herumbewegt. Es verlaufen dann wellenförmige Bewegungen in der Art an der Schnur entlang, dafs ein jeder Wellenberg in einer Spirallinie fortschreitet, d. h. die Wellenberge beschreiben eine Linie von der Gestalt einer um einen Cylindermantel gewickelten Spirale.

Es erfolgt somit die Oscillation der einzelnen Punkte bei den Longitudinalschwingungen in der Richtung der Punktreihe, bei den Transversal- und Radialschwingungen schwingt jeder Punkt senkrecht zur Richtung der Punktreihe und bei den Torsionsschwingungen findet eine Drehung um dieselbe statt.

Bezüglich des Eintrittes dieser Bewegungserscheinungen an den verschiedenen Teilen des Körpers eines Tieres ist dabei besonders zu beachten, dafs nie alle Teilchen desselben gleichzeitig in Bewegung geraten, gleichzeitig die Grenzen ihrer Oscillationsamplitude erreichen und gleichzeitig ihren Rückweg beginnen; stets beginnt die Bewegung an einem Ende und jedes folgende Teilchen macht dann dieselben Oscillationen wie das vorhergehende, nur mit dem Unterschiede, dafs es seine Bewegungen um so später beginnt, je weiter es von dem Ursprunge der Wellen-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

bewegung entfernt ist. Mit anderen Worten, es handelt sich nie um stehende sondern stets um fortschreitende Wellen. — Die Nichtbeachtung dieser Eigenschaft aller tierischen Bewegungen hat schon sehr vielfach zu grofsen Irrtümern betreffs der Mechanik derselben Veranlassung gegeben.

Die einfachste Form der Ortsbewegung treffen wir bei den Schleimpilzen; bei diesen dient in ihrem Plasmodiumzustand der ganze Körper, eine schleimige vollkommen nackte Eiweifsmasse, der Fortbewegung. Sie kriechen auf ihrem Substrate herum. Man sieht dieses am besten an der Lohblüte, einem oft in grofsen dottergelben Massen auf den Lohhaufen erscheinenden Schleimpilze, der sich bis zur Höhe eines Meters aufwärts bewegt. — Aus dem Rande des Plasmodiums treten bald hier bald dort Ausstülpungen hervor; dieselben vergröfsern sich, indem die Substanz von hinten her in sie hineinfliefst. Wenn dieses längere Zeit in derselben Richtung geschieht, so ändert das ganze Plasmodium seinen Ort.

Ähnlich der Bewegung der Schleimpilze erfolgt das Kriechen der Diatomeen. Bei ihnen wird indessen, und dadurch unterscheiden sie sich wesentlich von den Schleimpilzen, nicht mehr die ganze Körperoberfläche als Locomotionsapparat verwendet, sondern nur ein schmaler Spalt an einer Längslinie der Haut. Aus diesem Spalte tritt ein Streifchen des halbflüssigen Körperinhalts hervor. Mit ihm schieben sich die Diatomeen an festen Körpern hin und in ganz anologer Weise sieht man sie auch an der Wasseroberfläche sich kriechend fortbewegen.

Wie bei den Schleimpilzen die ganze Aufsenschicht des Körpers, bei den Diatomeen der schmale Spalt das Kriechen vermittelt, so dient bei den Seeanemonen der dem Meeresboden anliegende Theil der Aufsenhaut, bei den Muscheln ein kleiner fleischiger Anhang, der zwischen den Schalenhälften hervorgestreckt wird, zur Ortsbewegung.

Schneller und dabei für die Beobachtung bequemer, als bei allen bisher genannten Tieren, sind die Bewegungen der Schnecken. Läfst man z. B. eine Wasserschnecke in einem gläsernen Wasserbehälter an der senkrechten Wand aufwärts kriechen, so sieht man an ihrem flachen Fufse Bewegungen verlaufen, die nach dem treffenden Ausdrucke Swammerdams dem Wellenschlage des Meeres sehr ähnlich sind. Die Bewegung pflanzt sich vom Hinterende des Tieres beginnend von Punkt zu Punkt bis zum Vorderende fort. Jedes folgende Teilchen macht genau dieselben Oscillationen wie das vorhergehende, nur mit dem Unterschiede, dafs es seine Bewegung um so später beginnt, je weiter es von dem Anfangspunkte der Bewegung entfernt ist. Das heifst also, die Bewegung besteht in der Bildung fortschreitender Wellen. — Die ganze Unterfläche des Tieres haftet dabei abwechselnd bald fester und bald lockerer an dem Substrate und gleitet daher etwa in derselben Weise durch den auf dasselbe ausgeübten Druck fort, wie sich ein Kork in einem Glasrohre fortbewegt, wenn dasselbe durch Schläge in seiner Längsrichtung oder Anstreichen mit dem Fiedelbogen in Longitudinalwellen versetzt wird. — Fast noch schöner, als wenn das Tier an einer Glasplatte kriecht, erkennt man die Wellenbewegung des Schneckenfufses an einer an der Wasseroberfläche hin und herfahrenden Süfswasserschnecke. Mit grofser Geschwindigkeit gleitet das Tier bald vorwärts bald rückwärts; man sieht dabei sehr deutlich das wechselnde Spiel der sich verkürzenden und dehnenden Muskeln. Die Muskelcontractionen verlaufen, wenn das Tier an der Wasseroberfläche kriecht, genau in derselben Weise, als wenn es sich auf fester Unterlage fortbewegt; die Wirkung derselben ist dagegen in dem einen Falle eine andere ja sogar gerade die umgekehrte Wirkung, wie sie im anderen Falle eintritt; läfst die Schnecke nämlich ihre Wellenbewegungen vom Hinterende zum Vorderende verlaufen, so bewegt sie

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

sich an der Glaswand vorwärts, an der Luft rückwärts. (In dem ersteren Falle „versucht die Schnecke das Glas rückwärts zu schieben“ und schiebt sich selbst vorwärts; in dem anderen Falle schiebt sie das Wasser vorwärts und drückt dadurch ihren Körper rückwärts.)

Die Leichtigkeit mit der man bei den Schnecken diese Art der Bewegungen beobachten kann, ist die Veranlassung gewesen, dafs man die Schnecke als den Prototyp derjenigen Tiere betrachtet, die diese Art der Ortsbewegung haben; mit Recht bezeichnet man daher die sämtlichen Bewegungen durch Longitudinalschwingungen, die der Diatomeen und Schleimpilze, der Seerosen und Muscheln als schneckenfufsartig.

Allen diesen Bewegungen ist noch das gemeinsam, dafs sie stets nur an der Grenze zweier Medien wirksam werden. Eine Schnecke kann nur auf festem Boden und an der Wasseroberfläche kriechen. Ihre Longitudinalwellen würden eben, wenn das Tier ganz von einem Medium umschlossen würde, keine Fortbewegung bewirken.

Die Bewegungen der Schnecken sind sprichwörtlich wegen ihrer Langsamkeit; aber eigentlich verdienen sie diesen Ruf durchaus nicht. Beobachtet man eine Schnecke und constatiert, wie viel Zeit sie nötig hat um einen Weg von der Gröfse ihrer eigenen Körperlänge zurückzulegen, so sieht man, dafs sie keineswegs besonders langsam sind; verglichen mit den Diatomeen und Schleimpilzen, den Muscheln und Seeanemonen sind sie sogar sehr schnell.

Ja selbst mit den Bewegungen der höheren Tiere verglichen sind die Bewegungen der Schnecken keineswegs langsam; aber alle schneckenfufsartigen Bewegungen erscheinen langsamer als sie sind, weil bei ihnen der Körper gleichmäfsig fortschreitet und alle Nebenbewegungen fehlen, die doch sonst stets vorhanden sind.

Ganz anders verhalten sich in dieser Beziehung die Transversalschwingungen. Hier erscheinen die Bewegungen weit schneller als sie wirklich sind. Sieht man beispielsweise eine Schlange auf dem Boden kriechen, beobachtet man die Schnelligkeit mit der sich der Körper hin und herkrümmt, so ist man geneigt, die Schnelligkeit, mit der das Tier vorrückt, zu überschätzen und ist überrascht, wenn man sieht, dafs das Tier trotz der rapiden Krümmungen nur so langsam von der Stelle rückt.

Die Schwingungsebene ist bei den Transversalschwingungen entweder horizontal oder vertical. Mit dieser Verschiedenheit in der Richtung der Schwingungen ist bei den nach zwei Seiten symmetrischen Tieren ein tiefgreifender Unterschied in der Stellung der nebeneinander liegenden und sich in der Ruhelage wie Bild und Spiegelbild gleichenden Körperabschnitte verbunden.

Diesen Unterschied macht man sich am besten klar, wenn man sich den Körper des in Ruhelage lang ausgestreckten Tieres z. B. den einer Schlange durch zahlreiche zur Längsaxe senkrechte Querschnitte in viele Theile zerlegt denkt. Ein jeder solcher Abschnitt mufs dann bei der Bewegung des Tieres schwanken und zwar liegt bei den in horizontaler Ebene erfolgenden Transversalschwingungen die Drehungsaxe vertikal, bei den in vertikaler Ebene erfolgenden Transversalschwingungen dagegen horizontal.

Erfolgen die Transversalschwingungen in horizontaler Ebene, so bewegen sich die einem Körperabschnitte angehörigen nebeneinander liegenden Teile in ungleichem Sinne; d. h. wenn die rechte Hälfte des Körperabschnittes gegen den ruhend gedachten Mittelpunkt desselben Körperabschnittes vorwärts schwingt, so schwingt der daneben liegende Teil der linken Körperhälfte

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

rückwärts und umgekehrt. Die Bewegungen der beiden Körperhälften sind also ungleichnamig. Bei den Transversalschwingungen in vertikaler Ebene dagegen bewegen sich die nebeneinander liegenden Abschnitte des Körpers in gleichem Sinne. Die Bewegungen der beiden Körperhälften sind also gleichnamig. — Bezüglich der Form, die das in Bewegung begriffene Tier annimmt, tritt dabei der schon bei oberflächlicher Beobachtung äufserst auffallende Unterschied hervor, dafs im ersteren Falle das Tier unsymmetrisch wird, im letzteren Falle dagegen seine symmetrische Gestalt bewahrt.

Anders wie die nebeneinander liegenden Teilchen verhalten sich die übereinander liegenden Teilchen eines sich in Transversalschwingungen fortbewegenden Tieres.

Bei den in horizontaler Ebene erfolgenden Bewegungen beharren die übereinander liegenden Teilchen in ihrer Stellung zur Horizontalebene; erfolgen dagegen die Schwingungen in vertikaler Ebene, so oscillieren die in der Ruhelage des Tieres senkrecht übereinander stehenden Körperteilchen wie ein Stab, der der Symmetrieebene des Tieres parallel vorwärts und rückwärts schwankt. — Für den ersten Fall, die in asymmetrischer Körperstellung und dabei in horizontaler Ebene erfolgenden Transversalschwingungen, bietet das ausgezeichnetste Beispiel das Kriechen der Schlangen sowie das Schwimmen der Bandfische. Der Körper der Schlangen gleicht beim Kriechen genau einem in horizontale Transversalschwingungen versetzten Seile von kreisrundem Querschnitte; der der Bandfische gleicht beim Schwimmen einem ebenso bewegten breitem Bande, dessen kurze Fäden senkrecht gerichtet sind. Wie die Schlangen bewegen sich auch die Eidechsen und die Bandasseln (Skolopender) durch horizontale Transversalschwingungen des Körpers und kriechend. Die Eidechse braucht ihre vier, der Tausendfufs seine zahlreichen Gliedmafsen nur als Stützen.

Die symmetrischen Bewegungen in vertikaler Ebene beobachtet man am besten bei den Blutegeln. Den von oben nach unten plattgedrückten Körper lang ausstreckend beugen sie die einzelnen Abschnitte abwechselnd auf und ab, wobei die nebeneinauder liegenden Teile stets symmetrisch bleiben. Beim Vorwärtsschwimmen des Tieres schreiten die Wellenberge vom Vorder- zum Hinterrande des Tieres fort. Da die Oberseite gewölbt, die Unterseite dagegen flach ist, so ist natürlich der von der Unterseite ausgeübte Druck bedeutend stärker. Er ist es, der das Tier fortbewegt.

Da von allen Bewegungen durch Transversalschwingungen die der Schlangen am bekanntesten ist, so kann man alle diese Arten der Lokomotion passend unter dem Namen der schlängelnden Bewegungen zusammenfassen und als schlängelnde Bewegung mit symmetrischer resp. asymmetrischer Körperstellung unterscheiden.

Soweit sich auch die schlängelnden Bewegungen über das schneckenfufsartige Kriechen erheben, so unvollkommen erscheinen sie dadurch, dafs auch bei ihnen die Gesamtoberfläche des Körpers für die Lokomotion Verwendung findet, dafs bei jeder Bewegung der ganze Körper in Thätigkeit gesetzt wird.

In dieser Beziehung verhalten sich die Organe für die Ortsbewegung sehr ähnlich denen für den Stoffwechsel. Nur bei den niederen Tieren ist die äufsere Haut das Organ für die Aufnahme sowie für die Verdauung der Nahrung; bei allen höheren Tieren genügt sie diesem Zwecke nicht mehr. Da bei der Vergröfserung eines Körpers das Volum im Kubus, die Oberfläche dagegen nur im Quadrate wächst, so wird, da ein bestimmtes Verhältnis zwischen Oberfläche und

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Gewicht nötig ist, aus einfachen geometrischen Gründen bei steigendem Wachstum der Körper nicht sich selbst ähnlich sich vergröfsern können, sondern es wird das zur Ernährung notwendige Verhältnis zwischen Volum und Oberfläche nur erhalten bleiben können, wenn eine bedeutende Vergröfserung der endosmotisch wirksamen Oberfläche eintritt.

Diese Vergröfserung der Oberfläche läfst sich auf zweierlei Arten erzielen; nämlich erstens auf dem Wege der Einstülpung, zweitens auf dem der Ausstülpung. Das Wachstum der dem Stoffwechsel dienenden Oberfläche geschieht bei den sämtlichen gröfseren Tieren durch Einstülpung. Die Vergröfserung der der Ortsbewegung dienenden Oberfläche geschieht dagegen nach beiden Methoden, durch Einstülpung und durch Ausstülpung. Erstere findet für die Ortsbewegung im Wasser eine Anwendung in der Art, dafs die durch die Einstülpung gebildeten Hohlräume das Wasser aufnehmen, es dann durch Zusammenziehung der kontraktilen Substanz der Wände herauspressen und so durch die Reaktion des nach hinten getriebenen Wassers den Körper des Tieres nach vorn bewegen. Diese Einrichtung entspricht also ganz vollkommen den in der Schiffsbaukunst unter dem Namen der Wasserstrahlpropeller bekannten Apparaten.

Am reinsten kommt das Prinzip der Wasserstrahlpropeller bei den Salpen zum Ausdruck; durchsichtigen, halbcylindrischen Tierchen, welche das Wasser an ihrem spitzen Vorderrande durch eine kleine Öffnung eintreten lassen und es dann durch die weite hintere Auswurfsöffnung wieder ausstofsen. — Bei den Quallen dient ein und dieselbe Öffnung abwechselnd als Eintrittsöffnung und Austrittsöffnung. Bei ihnen hat der ganze Körper die Form einer gewölbten Schale. Der Mittelpunkt der konvexen Seite ist das Vorderende. Um diesen Pol ziehen sich in der Richtung der Breitengrade zahlreiche Muskeln; dieselben pressen, wenn sie sich kontrahieren, das Wasser aus der weiten Öffnung der Glocke heraus und treiben so den Körper vorwärts. Öffnet darauf das Tier die Scheibe wieder, so verlangsamt sich die Bewegung. Der Druck, den das Wasser durch die konkave Hinterfläche erfährt, ist weit energischer als der Widerstand, den die konvexe Vorderseite findet. Es ist also selbstverständlich der Impuls nach vorwärts weit stärker, als die Retardierung durch das Öffnen.

Während die Wasserstrahlpropulsion bei den Salpen und den Quallen die einzige Art der Fortbewegung ist, findet sie sich als eine nur selten verwendete Einrichtung bei den Tintenfischen. Diese Tiere besitzen einen in dem weiten Mantel versteckten Tintenbeutel, welcher aufser Wasser den unter dem Namen Sepia allbekannten schwarzbraunen Farbstoff enthält. Wird nun das Tier beunruhigt, so prefst es den Inhalt des Tintenbeutels mit grofser Gewalt durch die enge nach vorn geöffnete Öffnung, den Trichter, und schleudert durch den Rückstofs seinen Körper mehrere Meter weit fort (rückwärts), das Wasser ringsum trübend. Indefsen bedienen sich die Tintenfische dieser Einrichtung nur in Fällen der höchsten Not.

Bei den Salpen und Quallen, den Syringograden und Tintenfischen sind es stets ringförmige Muskeln, die der Fortbewegung durch Wasserstrahlpropulsion dienen. Indem sie sich wechselnd zusammenziehen und wieder ausdehnen, führen sie Bewegungen aus, die als Radialschwingungen zu bezeichnen sind. Ein jeder Punkt der ringförmigen Muskeln bewegt sich dabei in einer Linie, die mit der Axe des Körpers in einer Ebene liegt; eine Eigenschaft, die den Radialschwingungen mit den Transversalschwingungen gemeinsam ist. Wie bei diesen ist die von jedem einzelnen Punkte des bewegenden Muskelapparates beschriebene Bahn eine Kurve von einfacher, bei den Torsionsschwingungen dagegen eine Kurve von doppelter Krümmung.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Ähnlich wie in der Schiffsbaukunst trotz zahlreicher Versuche das System der Wasserstrahlpropulsion nur eine sehr beschränkte Anwendung gefunden hat, so ist auch in der Natur die Fortbewegung durch Radialschwingungen eine sehr beschränkte; sie ist auch vollkommen auf die Fortbewegung im Wasser beschränkt. Für ein Vorwärtsschieben durch die Luft durch Repulsion derselben, wie sie bei den Raketen statt hat, findet sich in der Natur ebensowenig ein Analogon, wie für die Fortbewegung durch die Luft vermittels statischen Druckes. Eine Fortbewegung durch die Luft wird vielmehr erst möglich bei Anwendung von aus dem Körper hervorgestülpten Flächen. Eine solche Bildung von Flächen ist es, die dem Tiere den höchsten erreichbaren Grad der Beweglichkeit verleiht, die zu gleicher Zeit die Gestaltung des Körpers in unendlich mannigfaltiger Weise variieren läfst.

Aber trotz der zahllosen Verschiedenheiten, die diese Bewegungsflächen unter einander zeigen, haben sie doch gewisse gemeinsame Merkmale in der Form und die Art der Bewegungen ist fast überall dieselbe.

Als die Grundform, die in allen Bewegungsapparaten wiederkehrt, kann man die Schraube betrachten. Schraubenförmig gedreht ist der Flügel des Insektes sowohl wie des Vogels beim Fliegen, die Flosse der Fische beim Schwimmen; dieselbe Form findet sich wieder an allen Knochen der Wirbeltiere; die spiraligen Gelenkflächen und die wie abgedrechselt aussehende, zierlich gewundene Form der Röhrenknochen zeigt, in welcher Weise die Muskelfasern verlaufen. Auch sie sind durchwegs spiralig; wie der Ausgufs der Herzkammern, so läfst auch der Verlauf der grofsen Muskelgruppen, die den Rumpf umgeben, die Schraubenform aufs deutlichste hervortreten.

Und der Form der bewegenden Flächen entspricht die Art der Bewegungen. Beim Gehen sowohl wie beim Schwimmen und beim Fliegen werden die bewegenden Flächen abwechselnd gehoben und gesenkt und gleichzeitig abwechselnd von der Medianebene des Körpers entfernt und ihr genähert.

Man stellt sich diese Bewegungen am besten vor, wenn man die Arme im Kreise herumbewegt und zwar in der Stirnebene d. h. einer auf der Horizontalebene und der Symmetriebene senkrechten Ebene. Geht man dabei vorwärts, so beschreiben die Fingerspitzen eine Linie wie sie eine auf einem Cylindermantel aufgewickelte Spirale darstellt. Genau in derselben Weise bewegt sich bekanntlich jeder Punkt der Schiffsschraube (so lange das Fahrzeug steht) in einer Kreislinie; beim Vorwärtsgehen des Schiffes dagegen wird aus dieser Kreisbahn eine Spirallinie.

Man kann somit die Bewegung durch Torsionsschwingungen als einen eigentümlichen Fall der Schraubenpropulsion betrachten, ebenso wie sich die Bewegung durch Radialschwingungen, als eine Art von Wasserstrahlpropulsion auffassen läfst.

[Für die dritte Art der in der Schiffstechnik verwendeten Art der Propeller, die Schaufelräder, findet sich in der Natur kein Analogon; ebene Flächen kommen ja überhaupt in der organischen Natur nicht vor. Da Schaufelräder nur an der Grenze zweier Medien verwendbar sind, gestatten sie nur eine Bewegung nach zwei Richtungen. Dieses sind die Gründe weswegen sie in der organischen Natur nicht vorkommen.]

Wie die Transversalschwingungen geschehen auch die Torsionsschwingungen bald asymmetrisch, bald symmetrisch.

Beim Trabe des Pferdes sieht man die asymmetrischen Bewegungen in der normalen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Form sehr deutlich. Wenn der linke Vorderfufs vorwärts schwingt, schreitet gleichzeitig der rechte Hinterfufs vor; dann folgen die beiden anderen Beine; der rechte Vorderfufs und der linke Hinterfufs bewegen sich gleichzeitig; es erfolgen demgemäfs diese Bewegungen in zwei Tempos und zwar diagonal. Diese diagonalen Bewegungen finden sich bei der Mehrzahl der Säugetiere und auch beim Menschen. Auch der Mensch bewegt, wenn er mit dem linken Beine vorwärts schreitet, den rechten Arm vorwärts und umgekehrt bewegt er das rechte Bein und den linken Arm gleichzeitig; auch beim Menschen halten die Arme und Beine denselben Takt inne und es bewegen sich die diagonal liegenden in gleichem, die neben einander liegenden dagegen und die voreinander liegenden in entgegengesetztem Sinne. Von derselben Art sind auch die Gangbewegungen der Insekten; auch die sechs Beine der Insekten werden in zwei Tempos bewegt; es wird nämlich das rechte Vorderbein, linke Mittelbein und rechte Hinterbein gleichzeitig und abwechselnd damit das linke Vorderbein, rechte Mittelbein und linke Hinterbein vorwärts bewegt, so dafs bei jeder Bewegung stets je drei Beine einen Dreifufs bilden, auf dem der Körper ruht, während die anderen drei vorwärts schwingen. Auch beim Schwimmen verfahren viele Insekten in derselben Weise, z. B. der Wasserskorpion und der schwarze Wasserkäfer (Hydrophilus).

Das Schwimmen der Fische besteht bekanntlich in einer schlängelnden Bewegung des aufser beim Wenden stets S-förmig gekrümmten Körpers; zu jeder Zeit bildet der Körper eine Schlangenlinie und jeder einzelne Punkt desselben bewegt sich in einer solchen Schlangenlinie. Es ist ein Irrtum, wenn man meint, die Bewegung der Fische bestände in einer wechselnden Streckung und Beugung des Körpers, der in eine Kopf- und Schwanzkurve geteilt wäre; es läfst sich auch durch eingehendere Überlegung leicht zeigen, dafs eine Schwingung des Körpers mit stehenden Knoten, den Körper nicht vorwärts zu bewegen im Stande wäre.

Bei den heterocerken Fischen, wie beim Hai und Stör, bei denen der Schwanz während der Bewegung die Form eines einfachen Schraubenflügels hat, sieht man die Art der Bewegung am besten. Von den schlängelnden Bewegungen der Schlangen und Blutegel, denen sie sonst äufserlich sehr ähnlich sind, unterscheiden sich die Schwimmbewegungen der Fische und der Säugetiere dadurch, dafs sich bei ihnen die einzelnen Punkte der Flächen, welche die Bewegungen hauptsächlich ausführen, die Schwanzflossen, nicht in einer Wellenlinie, sondern in einer Spirallinie bewegen.

Der Körper der Fische ist demgemäfs während der Bewegung stets unsymmetrisch. Dasselbe ist auch der Fall bei den Bewegungen der Pafsgänger. Bei den Kameelen, Giraffen und Steppenpferden scheint die Länge der Gliedmafsen die gewöhnliche diagonale Bewegung unmöglich zu machen; da bei ihnen die vorwärts schwingenden Hinterfüfse die ruhenden Vorderfüfse berühren würden, so müfsen die beiden Gliedmafsen einer Seite beinahe gleichzeitig gehoben werden; doch zeigt sich dieselbe Bewegung beim Schwimmen der Schildkröte, ohne dafs man hier diese Art der Erklärung anwenden kann.

Ein eigentümliches Gemisch von asymmetrischen und symmetrischen Bewegungen zeigen die Pinguine und Seehunde, die Walrosse, Wassersalamander und Krokodile.

Beim Pinguin erfolgt die Fortbewegung im Wasser durch die grofsen zu Vorderflossen umgestalteten Flügel; dieselben schwingen wie die Vogelflügel symmetrisch, die Füfse dagegen werden alternierend rückwärts und vorwärts bewegt, wie beim langsamen Schwimmen der Enten und Gänse.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Beim Barsch und Stichling und ebenso auch beim Seehunde werden, wenn die Tiere sich langsam fortbewegen, häufig nur die Vordergliedmafsen und zwar in symmetrischen Schlägen bewegt; mit dem Schwanze der Fische und den Hintergliedmafsen des Seehundes dagegen werden trotzdem diese in wagerechter Ebene nebeneinander liegen, unsymmetrische krummlinige Schläge geführt.

Beim Walrofs beteiligen sich die Vorder- und Hintergliedmafsen fast in gleicher Weise an den Bewegungen, und zwar wirken die Vordergliedmafsen asymmetrisch die Hintergliedmafsen drehend und krummlinig; auch die Ohrenrobe hat dieselbe Art der Bewegung, doch dienen bei ihr die Vordergliedmafsen der Propulsion, die Hintergliedmafsen dagegen nur der Steuerung.

Noch merkwürdiger ist das Arrangement der Bewegungen bei den Wassersalamandern und Krokodilen. Bei ihnen werden die vier Beine asymmetrisch bewegt und zwar derartig, dafs sich je zwei Beine derselben Seite gleichzeitig (im Pafsgange) bewegen, während der Schwanz drehende krummlinige Bewegungen ausführt.

Nur verhältnismäfsig selten kommen asymmetrische Bewegungen vor, die nicht streng diagonal sind.

Von allen Formen der Bewegung ist unzweifelhaft die der symmetrischen Torsionsschwingungen die häufigste. Die Vögel beim Hüpfen, die Enten, Gänse und Schwäne beim eiligen Schwimmen, die Pferde beim Sprunge bedienen sich dieser Form der Bewegung; dieselbe findet sich wieder beim Sprunge der Kängeruhs, der Heuschrecken, des Flohs, der Erdflöhe (Haltica) sowie in zahllosen ähnlichen Fällen, vor allem aber gehört in diese Kategorie von Bewegung der Flug aller Insekten, Fledermäuse und Vögel; also der Artenzahl nach des weitaus gröfseren Teiles des ganzen Tierreiches.

Die Betrachtung der Flugbewegungen zeigt die grofse Analogie zwischen dem Fluge und der Schraubenpropulsion. Man kann den Vogel betrachten als ein Schiff, welches sich vermittels zweier in entgegengesetzter Richtung rotierender Schrauben vorwärts bewegt. Dabei geschieht die Steuerung nach rechts und links durch einseitige Vergröfserung oder Verkleinerung der Schraubenflächen, die Steuerung nach oben und unten dagegen in den meisten Fällen durch Heben und Senken des Schwanzes. Ganz ähnlich wie bei den Vögeln sind die Flugeinrichtungen bei allen fliegenden Tieren. Überall sind der Wirkungsweise nach nur zwei Flugplatten vorhanden.

Bei den Insekten sind zwar mit Ausnahme der Dipteren fast ausnahmslos vier Flügel vorhanden. Indessen werden die Vorderflügel häufig nicht mitbewegt und dienen nur als Flügeldecken (Käfer), ja sie können selbst vollkommen geschlossen bleiben beim Fliegen (Cetonia). Diese Tiere fliegen also nur mit zwei Flugplatten. Dasselbe geschieht aber auch da, wo Vorder- und Hinterflügel schwingen. Es sind dann nämlich fast immer besondere Einrichtungen getroffen, die die Verbindung der Vorder- und Hinterflügel zu einer so engen machen, dafs die beiden Flügel einer Seite der Funktion nach nur ein Organ darstellen. Diese Verbindung geschieht bei den Wespen sowie bei vielen Wanzen durch Haken und Ösen. — Auch wo solche Verbindungen fehlen, ist eine gesonderte Bewegung der beiden Flügel einer Seite durch die Einrichtung der Muskulatur des Tieres unmöglich gemacht. Selbst die zierlich geteilten vier Flügel der Federgeistchen, welche bis zum Grunde fächerartig in meist zehn feingegliederte Lappen gespalten sind, stellen der Funktion nach ebensogut nur zwei Flugplatten dar, wie die in zahlreiche auseinandergespreizte Federn auslaufenden Flügel einer Krähe.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Wie in der Zahl der schwingenden Platten, so ist auch in der Art des Baues und der Bewegung derselben eine grofse Übereinstimmung. Alle Flugapparate der Tiere bestehen ausnahmslos aus zwei Teilen, einem harten mehr oder weniger steifem Vorderrande und einem daran befestigten weicheren Teile. Bei allen fliegenden Tieren wirkt der steife Vorderrand mit dem daran befestigten weicheren Teile wie ein Mast mit einem daran befestigten Segel. Wenn der Wind ein Schiff genau von der rechten Seite trifft, so mufs das Segel sich schräge nach links und rückwärts stellen, kommt der Wind genau von der linken Seite, so stellt das Segel sich nach rechts und rückwärts. Käme der Wind bei einem Schiffe abwechselnd von der rechten und von der linken Seite, so würde das Segel entsprechend rechts und links geworfen, das Boot würde dabei fortfahrend in derselben Richtung vorwärts gehen.

Ganz ähnlich wie der passive Winddruck auf das Segel wirkt nun der durch active Bewegung des fliegenden Tieres hervorgebrachte Luftdruck stellungverändernd auf die Fläche der Flügel, nur dafs beim Tiere stets zwei symmetrisch stehende Segel vorhanden sind. Bei dem wechselnden Spiele der Hebungen und Senkungen trifft der Luftstrom den Flügel bald von unten bald von oben und bewirkt jedesmal eine Umstellung der Segelfläche, während der harte Vorderrand ziemlich gleichmäfsig auf und abschwingt. — Freilich ist auch dieser Vorderrand der Flügel nicht absolut starr, sondern wenigstens teilweise biegsam; diese Biegsamkeit ist ausnahmslos bei allen Flügeln derartig, dafs die Krümmung des starren Vorderendes und der ganzen Flugplatte leichter nach unten als nach oben geschieht. Es erfolgt demgemäfs beim Heben und Senken des Flügels eine wechselnde Annäherung und Entfernung der Flügelenden (und der Druckmittelpunkte) an die Längsachse des Körpers. — Hierzu kommt bei allen fliegenden Tieren ein wechselndes Vorauseilen und Zurückbleiben der Enden der Flügel hinter dem gleichmäfsig schnell vorschreitenden Anheftungspunkte der Flügel.

Ist somit die Konstruktion der Flügel sowie die Art der Bewegung bei allen fliegenden Tieren eine sehr ähnliche, wie ja überhaupt alle durch Torsionsschwingungen gebildeten Bewegungen und ihre Organe viel gleichartiges haben, so treten doch anderseits auch bedeutende Unterschiede hervor, sowohl in der Gröfse der stützenden Flächen wie in ihrer Form. Und diese Verschiedenheiten der Organe in Form und Gröfse bedingen wiederum mannichfache Differenzen in der Art der Bewegung. Auch hier ist ein klares Verständnis nur zu erreichen, wenn man die Bewegungsapparate für die Lokomotion auf dem Lande und im Wasser mit in den Kreis der Betrachtung hineinzieht.

Bei Tieren, welche auf festem Boden leben, enden die Extremitäten in der Regel mit kleinen Füssen: die dem Boden dargebotene Fläche gewährt dem Körper ausreichend Stütze und Hebelkraft. Jede Vergröfserung derselben würde das Tier nur unnötig belasten, und zugleich die Befreiung der Füfse aus Hindernissen erschweren. — Daher sehen wir, dafs die Geschwindigkeit der Tiere abnimmt, wenn die dem festen Medium gebotene Fläche zunimmt, und dafs daher die gröfseste Geschwindigkeit auf dem Lande von denjenigen Tieren erreicht wird, die die kleinsten Bewegungsflächen haben. Das Pferd und der Hirsch zeigen dieses sehr gut und unter den Vögeln ist es namentlich der Straufs, der solche auf ein Minimum reduzierte Bewegungsflächen zeigt. Bei allen drei Tieren ist die sonst in ihren Klassen übliche Anzahl der Zehen reduziert; anstatt der bei den Säugetieren sonst vorherrschenden Fünfzahl der Zehen sind beim Hirsche (wenigstens der Funktion nach) nur zwei, beim Pferde gar nur einer vorhanden

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

und auch beim Straufse sind, anstatt der sonst bei den Vögeln meistens vorhandenen vier Zehen, nur zwei vorhanden. Ja der Straufs kann beinahe als einzehig betrachtet werden. Von den beiden Zehen wird nämlich beim Laufen auf festem Boden nur einer als Stütze gebraucht. Dieser Zeh ist weit grösser als der andere und mit einem starken Nagel bewehrt; der andere Zeh ist verkrüppelt, ohne Nagel und für das Gehen auf festem Boden von keiner Bedeutung.

Beim Laufen auf der Erde und auch beim Laufen auf dem Wasser setzt das das Tier umgebende Medium, die Luft, der Fortbewegung nur einen so geringen Widerstand entgegen, dafs die kleine Reibung an dem festeren Medium genügt, um diesen Widerstand zu überwinden.

Dagegen ist es beim Graben durch die Erde, beim Schwimmen im Wasser und dem Fliegen in der Luft dasselbe Medium, das die Stützpunkte für die Fortbewegung gewährt und dessen Widerstand überwunden werden mufs.

Dementsprechend müssen die für die Bewegung durch die Erde, im Wasser und in der Luft geeigneten Bewegungsflächen bedeutend gröfser sein als die für die Bewegung auf der Erde und auf dem Wasser.

Auch Tieren, welche auf weichem Boden leben, ist selbstverständlich eine Vergröfserung der Bewegungsflächen notwendig. Eine Vergleichung des Pferdes, Hirsches und Straufses mit dem Moschusochsen, Renntier und Elentier, den Schneehühnern und Sumpfvögeln zeigt, wie die Gröfse der Bewegungsflächen in mannigfacher Weise variiert, je nachdem dieselben auf festem Grunde verwendet werden oder auf weichem Sumpfboden, Schneefeldern und lockerem Sande. — Auf der andern Seite zeigt die Beobachtung der Renntiere und Kameele, wie ein und dasselbe Tier, je nach der Widerstandskraft des betretenen Bodens seine Bewegungsflächen bald grofs bald klein werden läfst (durch Spreizen resp. Zusammenlegen der Hufe) und es dadurch ermöglicht, dafs sie fast mit gleicher Geschwindigkeit auf weichem wie auf hartem Boden laufen. — Noch merkwürdiger als diese, sind die allerdings nicht zahlreichen Fälle, wo ein Tier auf dem Wasser läuft. Am vollkommensten sind dieser eigentümlichen Bewegungsform einige Wanzen angepafst. Der langgestreckte, sehr schmale und sehr dünne Leib dieser Tiere, der „Wasserläufer", trägt sechs auffallend lange und dabei haarfeine Beine. Durch eine feine Fettschicht sind diese Beine vor der Benetzung durch das Wasser gesichert; sie veranlassen ebenso wie eine mit einer Fettschicht überzogenen Stahlnadel eine Depression des Wassers und die Tiere können daher auf der Wasserfläche wie auf einem festen Körper mit sehr kleinen Bewegungsflächen dahinlaufen.

Bei dem Krokodile und der Sumpfschildkröte, Fischottern und all' den anderen zahlreichen Tieren, welche amphibisch bald auf und im Wasser bald auf dem Lande leben, ist die Gröfse dieser Bewegungsflächen um so gröfser, je mehr das Tier im Wasser lebt und noch bedeutender werden diese Flächen bei der Seeotter, der Seeschildkröte, dem Wassersalamander sowie den sämtlichen Robben, die das Wasser fast nie verlassen, sowie den guten Schwimmern unter den Fischen und den Fischsäugetieren, wie z. B. den Haien, Walen und Delphinen. Und doch erscheinen auch diese Bewegungsflächen noch klein, wenn man sie mit denen der fliegenden Tiere vergleicht. Der Grund hierfür ist ein doppelter. Erstens wird eine gröfsere Fläche nötig wegen des Umstands, dafs die fliegenden Tiere ihr Körpergewicht durch eigene Anstrengung in der Luft schwebend erhalten, während bei den im Wasser lebenden Tieren das spezifische Gewicht des Organismus und das des Mediums fast gleich sind; auf der anderen Seite wird eine Vergröfserung der stützenden Flächen notwendig wegen der Leichtigkeit mit der sich die Teilchen der Luft verschieben.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Bei den fliegenden Fischen tritt diese Steigerung der Gröfse bei Organen, die zum Fluge dienen, sehr deutlich hervor. Dieselben haben etwa die 10fache Gröfse von Brustflossen anderer sonst ebenso grofser Fische; und dabei dienen sie noch garnicht einmal als eigentliche Propeller, sondern sie wirken nur als Steuerapparate beim Sprunge durch die Luft. Die „fliegenden" Fische schnellen sich nämlich durch einen kräftigen Schlag mit der Schwanzflosse von der Wasseroberfläche ab und entfalten dann ihre Brustflossen. Diese Brustflossen geben dem Impulse, welchen sich das Tier gegeben hat, eine andere nämlich eine wagerechte Richtung, und so schiefsen die Flugfische bis zu Entfernungen von über 100 m weit vorwärts, fallen aber schliefslich, wenn die durch den Schwanzschlag erworbene lebendige Kraft verbraucht ist, auf das Wasser zurück. Sie können dann allerdings sofort wieder von neuem aufhüpfen und diese weiten Sprünge mehrfach wiederholen. Die grofsen Brustflossen dienen ihnen dabei nur als Steuervorrichtungen, nicht als Propeller.

Eine weit gröfsere Steigerung der Bewegungsflächen findet sich bei den wirklichen Fliegern, den Fledermäusen, Insekten und Vögeln. Dabei zeigen diese selbst untereinander wieder mannigfache Unterschiede. Nicht alle Vögel, Fledermäuse und Insekten haben im Verhältnisse zu ihrer Körpergröfse gleiche Flügelflächen. Vergleichung der Flugflächen und des Flugvermögens läfst bei ihnen erkennen, dafs im allgemeinen von zwei sonst gleich grofsen Tieren der schlechtere Flieger die kleineren Flügel hat, dafs umgekehrt diejenigen Tiere, welche viel und anhaltend fliegen, die grofsen Raubvögel und die Möven mit den gröfsesten Flügelflächen ausgestattet sind. Diese Frage nach der relativen Gröfse der Bewegungsflächen ist sowohl in theoretischer wie in praktischer Beziehung ganz besonders wichtig.

Von den auf dem festen Boden sich bewegenden Tieren sind diejenigen, welche die kleinsten Stützflächen haben, die schnellsten. Ebenso ermöglicht ja der Mensch durch den Bau recht glatter, macadamisierter oder asphaltierter Strafsen, von Klinkerchausseeen und Legung von Pferdebahngeleisen eine immer weiter gehende Verringerung der Reibung. Dadurch erhöhen sich die Geschwindigkeiten sehr beträchtlich und zugleich wird die für den Transport erforderliche Arbeit bedeutend verringert. Lasten, welche früher auf den holprigen Landstrafsen nur mit gröfsester Mühe und bedeutendem Zeitaufwande durch viele kräftige Pferde zwischen zwei Städten befördert werden konnten, werden jetzt mit gröfsester Leichtigkeit und Schnelligkeit durch wenige und schwächliche Tiere befördert. Eine Steigerung des Nutzeffectes wird hier, was ganz besonders wichtig ist, erzielt nicht durch eine Steigerung der aufgebotenen Kraft, sondern selbst mit Verringerung derselben, durch immer mehr und gesteigerte Widerstandsverminderung. Eine so weitgehende Verringerung der berührenden Flächen wie sie bei Lokomotion auf glatten Schienen stattfindet, ist freilich nur auf ganz hartem unnachgiebigem Materiale möglich.

Schon bei der die Lokomotion im Wasser in gröfsester Vollkommenheit bewirkenden Schiffsschraube haben wir bedeutend gröfsere Flächen, noch gröfsere wird man nötig haben für die Luftschifffahrt und es ist eine der wichtigsten Fragen für dieselbe, wie grofs die Flächen sein müssen, welche geeignet sein sollen, durch ihren auf die Luft ausgeübten Druck den Apparat nebst der Belastung zu tragen.

Es ist daher kein Wunder, dafs gerade diese Frage schon vielfach einer ausführlichen Berechnung unterzogen worden ist.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Bei den fliegen röfse bei Organen, die zum Fluge dienen, sehr deutlich h ie Gröfse von Brustflossen anderer sonst ebenso grofser Fi t einmal als eigentliche Propeller, sondern sie wirken nu rch die Luft. Die „fliegenden“ Fische schnellen sich mit der Schwanzflosse von der Wasseroberfläche ab un e Brustflossen geben dem Impulse, welchen sich das Tier g erechte Richtung, und so schiefsen die Flugfische bis zu En , fallen aber schliefslich, wenn die durch den Schwanzschl ist, auf das Wasser zurück. Sie können dann allerdings l diese weiten Sprünge mehrfach wiederholen. Die grofs r als Steuervorrichtungen, nicht als Propeller.

Eine weit gröf findet sich bei den wirklichen Fliegern, den Fledermäu diese selbst untereinander wieder mannigfache Unterschie Insekten haben im Verhältnisse zu ihrer Körpergröfse g lugflächen und des Flugvermögens läfst bei ihnen erkenner ch grofsen Tieren der schlechtere Flieger die kleineren F iere, welche viel und anhaltend fliegen, die grofsen Rau n Flügelflächen ausgestattet sind. Diese Frage nach der r sowohl in theoretischer wie in praktischer Beziehung g

Von den auf d en sind diejenigen, welche die kleinsten Stützflächen h t ja der Mensch durch den Bau recht glatter, macadamis linkerchausseeen und Legung von Pferdebahngeleisen eine Reibung. Dadurch erhöhen sich die Geschwindigkeiten s für den Transport erforderliche Arbeit bedeutend verrin holprigen Landstrafsen nur mit gröfsester Mühe und kräftige Pferde zwischen zwei Städten befördert werde eichtigkeit und Schnelligkeit durch wenige und schwächlich Nutzeffectes wird hier, was ganz besonders wichtig ist, e ufgebotenen Kraft, sondern selbst mit Verringerung dersel Widerstandsverminderung. Eine so weitgehende Verringer Lokomotion auf glatten Schienen stattfindet, ist freilich n eriale möglich.

Schon bei der ter Vollkommenheit bewirkenden Schiffsschraube haben w fsere wird man nötig haben für die Luftschifffahrt und e selbe, wie grofs die Flächen sein müssen, welche geeignet ausgeübten Druck den Apparat nebst der Belastung zu

Es ist daher ke on vielfach einer ausführlichen Berechnung unterzogen

Grauskala #13 B.I.G.
A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19
C Y M

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Druck von W. Pormetter in Berlin C.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf