

Schwimmtechnische Betrachtungen bei großen Hochseeschwimmern mit terminalem Antrieb, vornehmlich bei Ichthyosauriern.

Von

Dominik Kripp, Solbad Hall/Absam.

Mit 16 Textabbildungen.

Anlässlich meiner Rekonstruktion des erstmalig von mir bearbeiteten Kreide-Ichthyosauriers „*Platypterygius platydactylus*“ var. nov. von Gitter (s. Abb. 1 und 2) habe ich mich mit dem Schwimm-

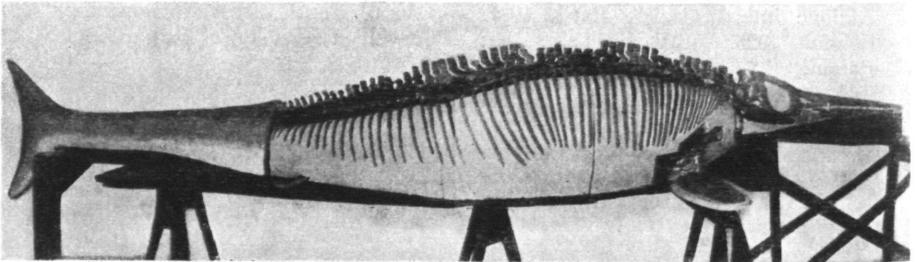


Abb. 1. *Platypterygius platydactylus* var. nov. nach der Montage.

problem, insbesondere mit der Hypobatie und Epibatie vom Standpunkt des Technikers aus befaßt.

Vorerst möchte ich über die Fundgeschichte des Ichthyosauriers einiges mitteilen. Gleichzeitig will ich einen Überblick über den zeitlichen und stammesgeschichtlichen Rahmen des Fundes geben (Lit. 6, 9, 10, 14, 17).

Im Januar 1941 wurde im Schacht Gitter der Salzgitterer Montanwerke 100 m unter Tage der Hauptstollen auf das Doppelte verbreitert. Bei den dadurch notwendigen Sprengarbeiten wurde das Skelett eines im Leben 5 m langen Ichthyosauriers freigelegt.

Zufällig lag das Tier mit seiner Längsachse in der Längsrichtung des Stollens. Wie bei solchen Funden oft das Glück die Hand im Spiele hat, war der Stollen eben in der Richtung getrieben worden, in der die Natur das Reptil zu einem 120 Jahrmillionen währenden Schlummer hingebettet hatte. Die Hand des Technikers hatte zufällig dieses Bett der Länge nach aufgerissen und enthüllte so den riesigen Zeugen erdgeschichtlicher Vergangenheit.

Schon vor der eigentlichen Entdeckung des Fundes war das Tier von der Schwanzseite her z. T. abgebaut worden, so daß ein Teil des Schwanzes verloren ging. Doch gleich nach Entdeckung des großen Skelettes schenkte man diesem Fund aus der Unteren Kreide (Apt) das nötige Interesse und die gebührende Aufmerksamkeit. Ist doch so ein gut erhaltener Kreide-Ichthyosaurier eine Einmaligkeit, da Funde von Ichthyosauriern aus der Kreide als Vertreter eines aussterbenden Tierstammes nur spärlich vorhanden sind. Als der seltene Fund Prof. Weigelt von der Werkleitung gemeldet wurde, leitete er die Bergung gleich in die Wege.

Da das Skelett an der oberen Kante des Stollens lag, bereitete seine Bergung erhebliche Schwierigkeiten; mußte doch das ganze Skelett unterschrämt und in drei Teilen zum Abtransport zurechtgemacht werden. Die einzelnen Teile wurden mit Winden aus dem Gestein gehoben, in eigens dazu verfertigte Kisten verpackt, auf einem Tafelwagen zur Förderanlage gebracht und ans Tageslicht geschafft. Die Kisten, deren jede etwa 40 Zentner wog, wurden auf Lastkraftwagen nach Halle transportiert.

Die ältesten bekannten Vertreter der Ichthyosaurier finden sich im Muschelkalk in der Form *Mixosaurus*. Da diese ältesten Ichthyosaurier schon ziemlich spezialisiert waren, dürften ihre Ahnen weit in die Permzeit zurückreichen (v. Huene; Lit. 14, 15). Der *Omphalosaurus* aus dem Muschelkalk von Newada zeigt eine Andeutung von den primitivsten Ichthyosauriervorläufern.

Die Ichthyosaurier werden nach dem Bau ihrer Paddeln in zwei Gruppen eingeteilt: in die Latipinnaten oder Breitflosser und in die Longipinnaten oder Langflosser. Im wesentlichen muß man daher in der Frühzeit der Entwicklung der Ichthyosaurier die latipinnate *Mixosaurus*- und die longipinnate *Cymbospondylus*-Gruppe unterscheiden. Diese beiden Gruppen zeigen auch Unterschiede im Bau der Schwanzflosse. Die erste Gruppe zeigt im Schwanz schon früh die Propellerform, während die andere Gruppe noch lange einen

Ruderschwanz, verbunden mit einer Schlängelbewegung des Körpers, aufweist.

Aus dem Lias, wo die Ichthyosaurier ihre Blütezeit erreichten und weltweit verbreitet waren, kennen wir die longipinnate Hauptgruppe der Leptoterygier, die man von den Cymbospondyliern herleitet und die noch einen Ruderschwanz zeigen. Neben anderen Gruppen tritt die Gruppe der Stenopterygier in den Vordergrund. Die Vertreter der ersten dieser beiden Gruppen erreichten gewaltige Körpergrößen und waren ausgesprochene Räuber, die wenig Feinde besessen haben dürften. Die klein bleibenden Stenopterygier mußten sich im Kampf ums Dasein dauernd anpassen. Sie eignen sich daher als unterschiedliche Leitfossilien, während die großen robusten Formen ihre Eigenart beibehielten, weil sie es nicht notwendig hatten, durch fortwährendes Anpassen sich im Kampf ums Dasein zu behaupten. Als Vertreter der latipinnaten Gruppe tritt *Eurypterygius* auf den Plan, der sich von *Mixosaurus* herleitet und schon einen ausgesprochenen Propellerschwanz mit Wrickschlag aufweist.

Von diesen drei großen Hauptgruppen setzen sich die latipinnaten Eurypterygier in den Ophthalmosauriern, den Brachypterygiern und den Makropterygiern bis in die untere Kreide fort. Von letzteren spalten die Myopterygier ab, mit denen der Stamm der Ichthyosaurier im Senon ausstirbt. Der zweite Ast, die Stenopterygier, findet in den Platypterygiern und Nannopterygiern seine Fortsetzung, während die dritte Gruppe, die Leptopterygier, im Oberen Lias gänzlich erlischt, indem diesen großen Formen vielleicht in den Pliosauriern ebenbürtige Gegner erwachsen.

Zu den Platypterygiern gehört auch unsere Form, die der Form *Platypterygius platydactylus* („*Ichthyosaurus*“ *platydactylus* Broili, Lit. 9, 10) so nahe steht, daß ich die vorliegende Art mit dem gleichen Namen belege:

„*Platypterygius platydactylus*“ var. nov.

Durch die vielen und mannigfaltigen Ichthyosaurierfunde aus der Liaszeit und aus anderen geologischen Zeiten sind wir in die Lage versetzt, über Leben, Geburt und Tod der Ichthyosaurier ziemlich gut orientiert zu sein.

In Zusammenhang mit der Namensbelegung des Gitterer Ichthyosauriers ist es wohl nicht uninteressant, den Vergleich mit dem Castendammer Exemplar Broili's durchzuführen.

Entsprechen die Ausmaße des Gitterer Ichthyosauriers fast genau den Maßen des von Broili beschriebenen Exemplares von Castendamm (Lit. 9, 10), so weichen doch die Paddeln unseres Exemplares von den Angaben Broili's ab. Die Paddeln des Castendammer Exemplares waren unvollständig, und da die Breite mit unseren Paddeln übereinstimmt, liegt meines Erachtens kein Grund vor, für das Castendammer Exemplar eine kürzere Paddel anzunehmen. Die Paddeln unseres Tieres sind vollständig, während die von Broili beschriebenen hypothetisch ergänzt sind, so daß, nach

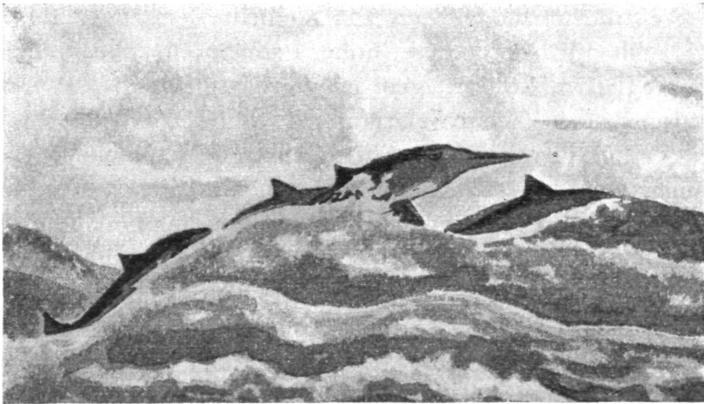


Abb. 2. *Platypterygius platydactylus* var. nov. Lebensbild.

diesem neuen Fund zu schließen, die vollständige Paddel mit Humerus auch am Castendammer Exemplar auf 54 cm statt auf 42,5 cm zu ergänzen ist. (Gitterer E.: Humerus 11, Paddel 43; Castendammer E.: Humerus 12,5, Paddel 30 cm [ergänzt]).

Während das Castendammer Exemplar ein Intermedium mit 7 Ansatzflächen besitzt, hat unser Exemplar zwei Intermedien, die zusammen die gleichen 7 Ansatzflächen aufweisen. Ob aber zur Unterscheidung einer neuen Art die Aufspaltung eines Intermediums in zwei hinreichend ist, möchte ich dahingestellt sein lassen; macht sich doch bei den Ichthyosauriern überhaupt die Tendenz bemerkbar, die einzelnen Elemente der Paddeln aufzuspalten.

Die sieben Ansatzflächen für das Intermedium sind nach Broili folgende (Lit. 9):

1. eine rostral-proximale = Gelenkverbindung mit dem Radius
2. eine caudal-proximale = Gelenkverbindung mit der Ulna
3. eine rostrale = Gelenkverbindung mit dem Radiale
4. eine caudale = Gelenkverbindung mit dem Ulnare
5. eine rostral-distale = Gelenkverbindung mit dem 2. Carpale
6. eine distale = Gelenkverbindung mit dem Centrale
7. eine caudal-distale = Gelenkverbindung mit dem 3. Carpale

Von diesen Gelenkflächen 1—7 fallen 1, 2, 3 und 4 auf das Intermedium J₁, 4, 5, 6 und 7 auf das Intermedium J₂. An der Gelenkfläche 4 beteiligen sich beide Intermedia.

Diese Intermedia wurden von meinem Vorgänger falsch gedeutet, auch für die andere linke Paddel, wo naturgemäß die gleichen Verhältnisse vorliegen. Es wurde für das J₂ das Centrale gesetzt, so daß die Identifizierung der weiteren Knochen mit der Nomenklatur Broili's nicht stattfinden konnte. (Nachdem meinem Vorgänger die Arbeit der Restauration und Rekonstruktion des Ichthyosauriers entzogen worden war, da er der Aufgabe einer Rekonstruktion in keiner Weise gewachsen war und nur eine äußerst fragmentarische und fehlerhafte Rekonstruktion zustande brachte, wurde ich mit der Rekonstruktion und Restauration betraut.) Durch die Anordnung bzw. Benennung der Paddelknochen, wie ich sie durchgeführt habe — die Paddeln wurden von Herrn Wagner zweifellos richtig zusammengestellt — erscheinen auch die Endflächen der übrigen Knochen genau so, wie sie Broili für den „*Ichthyosaurus platydactylus*“ geschildert hat; es fügen sich die einzelnen Elemente der Paddel mühelos in die Nomenklatur Broili's ein (Lit. 9):

„Im Radius treten 4 Endflächen auf, eine proximale = Gelenkung mit dem Humerus, eine caudale = Gelenkung mit der Ulna, eine distale = Gelenkung mit dem Radiale, eine caudal-distale = Gelenkung mit dem Intermedium.“ (Intermedium J₁).

„An der Ulna finden sich 5 Gelenkflächen: eine proximale = Gelenkung mit dem Humerus, eine rostrale = Gelenkung mit dem Radius, eine caudale = Gelenkung mit dem Pisiforme, eine rostral-distale = Gelenkung mit dem Intermedium, eine caudal-distale = Gelenkung mit dem Ulnare.“

„An Radius und Ulna schließt sich die proximale Reihe des Carpus an. Radiale, Intermedium, Ulnare, zu welchen bei unserem

Stück, nach den gut erhaltenen Endflächen der angrenzenden Platten zu schließen, noch ein radiales und ulnares Sesambein kommen, die beide verloren gegangen sind. Dieses Auftreten von zwei Sesambeinen ist bei *Ichthyosaurus* eine sehr seltene Erscheinung, die meines Wissens erst einmal und zwar von G. A. Boulanger bei *Ichthyosaurus extremus* (mit sehr breiter Paddel) aus dem Unteren Lias beobachtet wurde.“

Unser Exemplar aus Gitter zeichnet sich dadurch aus, daß die Paddel beide Sesambeine (ein radiales und ein ulnares) an der rechten und ein radiales an der linken Körperseite aufweist.

„Das radiale Sesambein hat seine Lage vor dem Radiale und es grenzt mit seiner distalen Endfläche an das 1. Carpale; ob proximal eine Beziehung zum Radius erfolgt, läßt sich infolge des mangelhaften Erhaltungszustandes des letzteren an dieser Stelle nicht entscheiden.“ (Lit. wie oben).

Bei unserem Exemplar sind alle Paddelelemente so gut erhalten, daß sich einwandfrei nachweisen läßt, daß das radiale Sesambein 4 Endflächen hat: eine proximale, für die Gelenkung mit dem Humerus, eine caudalproximale für den Radius, eine caudal-distale für das Radiale und eine distale für das Carpale 1. Das vollkommen erhaltene ulnare Sesambein der rechten Paddel läßt mit Sicherheit drei Endflächen erkennen: eine rostral-proximale für Gelenkung mit dem Humerus, eine rostrale für Gelenkung mit der Ulna und eine rostral-distale für Gelenkung mit dem Ulnare.

Durch diese Aufteilung in zwei Intermedia bringt man, wie schon erwähnt, die Nomenklatur und Einteilung mit der Einteilung von Broili vollkommen zur Deckung und es gelingt mit Hilfe unserer wohlerhaltenen Paddel, die Mitteilung Broili's wertvoll zu ergänzen.

Der Unterschied der Paddel des Gitterer Exemplares von der des Castendammer Exemplares liegt vor allem in der Aufspaltung des einen Intermediums in zwei¹⁾ und im Vorhandensein von sieben Fingerstrahlen gegenüber einer Andeutung von acht in der Zeichnung Broili's (Lit. 9), wobei nicht ausgeschlossen ist, daß

1) „Ein zweiter, beim erwachsenen Menschen sehr seltener Fund ist ein zwischen beiden Reihen der Handwurzelknochen in einer distalwärts gelegenen Nische des Os naviculare gelegenes Knöchelchen der Handwurzel, das Os centrale. Bei dem erwachsenen Menschen gehört es zu den Seltenheiten, findet sich in 1% der Fälle. Einmal wurde es doppelt gefunden.“ (Lit. 20).

von unserem Exemplar der achte Fingerstrahl nicht erhalten ist oder eine unterschiedliche Auffassung in der Deutung dieses Fingerstrahles herrscht.

Nach all dem Gesagten liegt augenscheinlich kein Grund vor, aus den nur geringen Unterscheidungsmerkmalen die Aufstellung einer neuen Art gerechtfertigt erscheinen zu lassen.

Es ist über das Schwimmproblem der Tiere schon viel geschrieben worden (um einige der wichtigsten Forscher zu nennen: Abel, Böker, Kükenthal). Die übliche Meinung ist die, daß epibatische Flossen Abtrieb, hypobatische Auftrieb erzeugen. Eben-

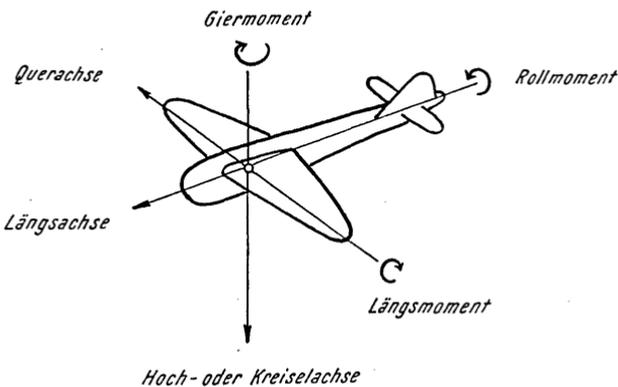


Abb. 3. Flugzeug mit Achsen und Momenten.

so wurde die gegenteilige Meinung vertreten. Dabei wurde jedoch das Kernproblem nicht miterfaßt. Die Hauptfrage ist die: Welche Bewegung führt der freischwimmende Körper aus und welche Bewegungen kann er überhaupt ausführen? Die Antwort auf diese Frage zielt darauf hin, daß jeder sich frei überlassene, schwimmende oder fliegende Körper sich um den Schwerpunkt dreht und dies zu tun gezwungen ist, sobald eine ausmittige Kraft angreift und ein Drehmoment erzeugt. Die Bewegung des Schwerpunkts schreibt dem Körper seine Bahn vor. Der Schwerpunkt eines frei fallenden, schweren Gegenstandes fällt mit dem Gegenstand senkrecht zur Erde. Mag der Gegenstand sich noch so oft überschlagen, trudeln und kollern, er vermag die Bahn des Schwerpunktes nicht zu beeinflussen. Alle durch eine ausmittige Kraft hervorgerufenen Momente sind daher Momente um den Schwerpunkt. Legen wir nun die auftretenden Momente begrifflich fest, so wählen wir dabei

— um anschaulich zu bleiben — die in der Flugtechnik üblichen Bezeichnungen und Achsen (s. Abb. 3, Lit. 18). Das Längsmoment um die Querachse, das Rollmoment um die Längsachse, das Giermoment um die Hoch- oder Kreiselachse. Alle diese Achsen schneiden sich in einem gemeinsamen Punkte, dem Schwerpunkt, in dem man sich die Masse des Körpers konzentriert denkt, bzw. in jenem Punkte, wo die Massenkräfte angreifen.

Man findet in der Natur Schwanzflossen, die excessiv unsymmetrisch sind. Solche, bei denen die untere Schwanzhälfte überwiegt und solche, wo die obere Schwanzflossenhälfte weitaus größer ist. Ebenso findet man, und zwar viel häufiger, Fische mit gleichflügeliger Schwanzflosse. Im ersten Falle spricht man von einer hypobatischen Schwanzflosse, im zweiten von einer epibatischen, im dritten von einer isobatischen. Vor Jahren hatte ich Gelegenheit, im Zoologischen Institut der Wiener Universität an Großflossern meine Studien zu machen. Dabei stellte ich fest, was ja den meisten bekannt sein wird, daß Fische mit isobatischen Schwanzflossen in der Lage sind, mit beiden Schwanzhälften unabhängig von einander zu operieren, so daß dieselbe Flosse einmal „hypobatisch“ und einmal „epibatisch“ wirkt.

Nun habe ich dieses Problem der asymmetrisch wirkenden Schwanzflosse von *Platypterygius platydactylus* studiert.

Die ganze Form des Tieres, vor allem Form und Lage der Rückenflosse, weist darauf hin, daß das Tier eine ausgesprochene schnell schwimmende Hochseeform war (s. Abb. 2). Der Vergleich mit anderen Hochseeformen, z. B. Haien, Delphinen, liegt auf der Hand. Zum schnellen Vortrieb besitzt der Ichthyosaurier in unserem Falle eine hypocerke Schwanzflosse, bei der die Wirbelsäule in den unteren Teil hineinragt, wodurch mit dem Schwanz eine Wrickbewegung erzeugt werden kann.

Beim Wrickschlag der terminalen Schwanzflosse, die diesen großen Formen zum Antrieb dient, treten durch den Auf- und Niederschlag des Schwanzes Längsmomente auf. Dabei wird der Schwanz beim Abschlag nach oben getrieben; der Schädel wird dabei nach unten gedrückt. Bei der Aufschlagphase ist es umgekehrt. Es wechseln beim Hin- und Herschlagen des Schwanzes, das mit Auf- und Abschlag verbunden ist, immer epibatische und hypobatische Momente ab. Ferner treten noch Giermomente durch den Quertrieb der hin- und herschwenkenden Flosse, weiters Roll-

momente durch den Drehschlag des Schwanzes auf. Diese Momente kommen dadurch zustande, daß der Wasserwiderstand der Bewegung der Flosse entgegenarbeitet; die dabei auftretenden Kräfte werden Reaktionskräfte genannt. Die Roll- und Giermomente sind für die geradlinige Fortbewegung störend; die Längsmomente würden eher bewegungsfördernd wirken, da sie dem Körper eine wellenförmig auf- und abwogende Bewegung erteilen.

Um den Ablauf der Wrickbewegung in ihrer vollen Bedeutung in ein klares Licht zu rücken, habe ich die mechanische Analyse eines Wrickschlages konstruktiv durchgeführt. Bevor wir aber dies näher erörtern, hören wir, was v. Huene über die Schwanzflosse der Ichthyosaurier schreibt (Lit. 16):

„Es ist klar, daß die asymmetrische Schwanzflosse, wie wir sie aus der Trias durch *Wimann* von *Mixosaurus Nordenskjöldi*, oder wie wir sie — schon symmetrischer — vom embryonalen und juvenilen *Stenopterygius* aus dem oberen Lias kennen, noch nicht so wirksam ist wie die fast symmetrische des erwachsenen *Stenopterygius quadriscissus* (?) und die Differenz noch größer ist (?) mit der ganz symmetrischen z. B. von *I. posthumus* Wagner aus dem obersten Malm von Solenhofen. Zugleich aber wirkt die asymmetrische Schwanzflosse (verkehrt heterocerk) weniger hypobatisch als die symmetrische (?) (falls letztere überhaupt hypobatisch wirkt), erstere wirkt mehr isobatisch. Denn die Wirbelsäule in dem symmetrischen Propeller ist schwächer geknickt, also mehr nach hinten gerichtet, aber bei der symmetrischen Schwanzflosse (sollte wohl heißen „asymmetrischen“ Anm.) ist die Wirbelsäule dieses ganzen Teiles mehr abwärts gerichtet, könnte daher stärkeren Auftrieb geben. Die Wrickbewegung zur Propulsion geschieht ja natürlich nur mit jenem Teil der Schwanzflosse, in dem die Wirbelsäule steckt, denn nur dort kann die Muskulatur angreifen. Der oberste Hautlappen der Schwanzflosse wurde höchstwahrscheinlich ganz unbeweglich gehalten; er diente zur Richtungssteuerung im Verein mit der häutigen Rückenflosse. Es ist anzunehmen, daß diese beiden, wie die Rückenflosse der Delphine, von lederartiger, fester Konsistenz waren. Fische mit zweiteiliger Schwanzflosse, wie z. B. die Schleie, sollen nach Prof. Hennig's Beobachtungen die Wrickbewegung nur mit dem unteren Lappen ausführen, während der obere Lappen ruhig bleibt. Wichtig für die Ichthyosaurier ist die Tatsache, daß die beiden Lappen unabhängig von einander operie-

ren. Die den Ichthyosauriern ähnlichste Körper- und Flossenform finde ich bei dem Schwertfisch *Histiophorus (Xiphias) gladius*. Er ist mit seiner diplocerken Schwanzflosse einer der schnellsten und gewandtesten Schwimmer unter allen Fischen. Auch haben seine Vorderflossen Ähnlichkeit mit denen mancher Ichthyosaurier, ebenso die Rückenflosse, die anderen sind verschwindend klein. Die Ähnlichkeit der Ichthyosaurier (allerdings mehr die oberjurassischen) mit diesem Fisch ist eine vollkommener als mit den sonst zum Vergleich herangezogenen Delphinen. Sogar die Größe ($3\frac{1}{2}$ —4 m) ist der vieler Ichthyosaurier gleich. Man sieht am Beispiel des Schwertfisches, daß die Wrickbewegung ganz ungeheuren Effekt haben kann, denn er durchbohrt mit seinem Speiß im Anrennen Holzwände und Balken an Schiffen von über einem halben Meter (wofür Brehm authentische Beispiele anführt. Lit. 8). So vollkommen waren die Schwimmeinrichtungen der liassischen Ichthyosaurier zwar noch nicht (sie erreichten diese Stufe erst in späterer Zeit).“

Man sieht aus dem ersten Teil des Zitates, daß die Vorstellungen vom Schwimmproblem noch sehr unklar sind.

Während Wale und Delphine eine horizontalgestellte Schwanzflosse haben, fanden die Ichthyosaurier eine andere Lösung für den Propellerschlag in der Ausbildung einer vertikalen Endflosse. v. Huene vergleicht, wie wir gehört haben, daher die Ichthyosaurier mit dem Schwertfisch, der durch die vertikal gestellte Flosse mit dem Wrickschlag einen pfeilschnellen Antrieb erhält. Auch die Ichthyosaurier werden einen solchen rapiden Antrieb gehabt haben, sei es, daß sie die an pfeilschnelles Schwimmen angepaßten, torpedoförmigen Belemniten auf der Nahrungssuche verfolgten, sei es, daß sie die Jungen der eigenen Art, die schon „im Mutterleib“ bei dem lange Zeit dauernden Geburtsakt schwimmen lernten, als Beutetiere verfolgten, wie der Mageninhalt beweist.

Welche der beiden Lösungen des terminalen Antriebs die günstigere ist, läßt sich nicht so ohne weiteres entscheiden. Beim Wal-Antrieb, wie wir kurz den Antrieb durch einen horizontalgestellten Propellerschwanz nennen wollen, fällt der Quertrieb so gut wie weg; deswegen fehlen auch die Einrichtungen, die beim Ichthyosaurier-Antrieb die Längsstabilität gewährleisten. So fehlt bei den Walen und Delphinen die vertikal gestellte, hintere Flosse, weil eine solche Anordnung anatomisch unmöglich und wie gesagt, funk-

tionell nicht nötig ist. Oft fehlt auch die Rückenfinne, die allerdings beim Schwertwal bedeutende Größe annimmt, wahrscheinlich um den großen Drall bei seinem rapiden Schwimmen auszugleichen (s. Seite 477).

Beim Wrickschlag mit vertikal gestellter Schwanzflosse, der, wie ich glaube, der effektvollere von beiden Antriebsarten ist, tritt ein bedeutender Quertrieb auf, so daß eine ausreichende Längsstabilität notwendig wird. Eine ausgesprochen längsstabilisierende Wirkung hat die vertikal gestellte, endständige obere Schwanzflossenhälfte, deren rückdrehende Wirkung umso stärker ist, je größer der Ablenkungswinkel wird, was ja der Definition der eigentlichen Stabilität entspricht (Lit. 11). Die Rückenfinne, die wahrscheinlich außer der stabilisierenden noch eine strömungstechnische Bedeutung hat (Lit. 12) und die Wirkung der Terminalflosse mehr zur Geltung bringt, ist dadurch zur Notwendigkeit geworden.

Wir nehmen zur mechanischen Analyse der Wrickbewegung als Ersatz der elastischen unteren Schwanzflossenhälfte ein starres Dreieck an, das mit seiner Ebene in der Sagittalebene liegt (s. Abb. 4). Im Aufriß sehen wir das Dreieck ABC von der Seite an, im Grundriß von oben, im Kreuzriß von vorn. Die großen Pfeile geben die Schwimmrichtung und die Körperlage des Tieres an. Im Kreuzriß erscheint der Pfeil als Kreis mit einem eingezeichneten Punkt; es ist dies die technische Darstellung, das Symbol, für einen auf den Beschauer zukommenden Pfeil. (Man sieht auf die Pfeilspitze — Punkt!) Für einen vom Beschauer sich wendenden Pfeil wählt der Techniker als Symbol einen Kreis mit eingezeichnetem Kreuz. (Man sieht auf die Pfeilfedern — Federkreuz!)

Dank der ausgezeichneten Lage des Dreiecks fällt seine Projektion im Grundriß und Kreuzriß in eine Linie ABC zusammen. Nun wurde untersucht, ob das Hin- und Herschwenken einer solchen sagittal oder „pfeilrecht“ gestellten Flosse, bzw. eines starren Dreiecks (Ruders) einen Vortrieb erzeugt. Es wurde das Dreieck um die Achse $b-b'$, die in der Schwimmrichtung liegt, ausgeschwenkt und Reaktionskraft (entgegengesetzt der Flossenkraft), bei einleitendem Rückschlag gegen die Mitte zu, eingezeichnet. Diese Kraft steht senkrecht auf die Dreiecksebene, die die Drehachse enthält. Beim Ausschwenken des Dreiecks um die Achse $b-b'$

bewegt sich die Spitze auf einem Bogen um diese Achse nach C' (s. Kreuzriß!). Nun stellt sich heraus, daß die Kraft P' , nachdem sie normal auf die Dreiecksebene im Punkte H' aufgetragen wurde, keine Komponente für den Vortrieb hat. Eine Vortriebskompo-

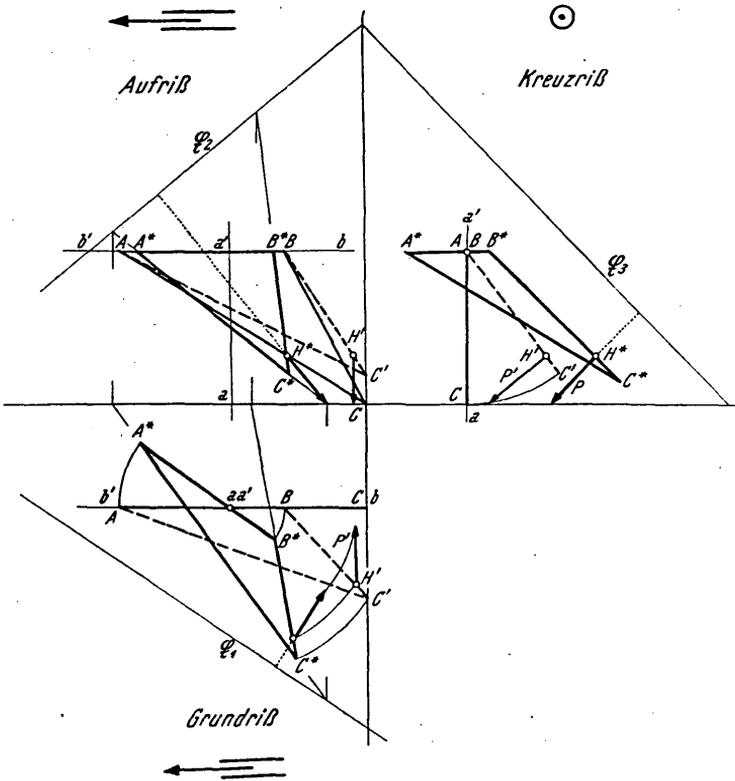


Abb. 4. Erklärung im Text.

nente müßte in der Richtung der großen Pfeile laufen. (Die Kraft gibt aber, wie ja vorauszusehen war, nur einen Quer- und Auftrieb).

Wir haben damit konstruktiv nachgewiesen, daß das Hin- und Herschwenken einer sagittal gestellten Fläche noch keinen Vortrieb erzeugt. Um einen Vortrieb zu erhalten, muß diese starre Fläche noch verwendet, verdreht werden.

Das Dreieck ABC wurde also, nachdem es um die Achse $b-b'$ ausgeschwenkt worden war, noch obendrein um die vertikale Achse $a-a'$ verdreht (Abb. 4).

Bei dieser Drehung um $a-a'$ beschreiben alle Punkte des Dreiecks in der Grundrißprojektion Kreisbögen; im Aufriß und Kreuzriß schieben sie sich bei dieser Drehung horizontal hinüber. Durch diese Doppeldrehung um die beiden Achsen $b-b'$ und $a-a'$ gelangt die Spitze C des ursprünglichen Dreiecks nach C^* des verwendeten Dreiecks. Nach dieser genannten Drehung nimmt das Dreieck ABC die neue Lage $A^*B^*C^*$ ein. Senkrecht auf die Ebene dieses

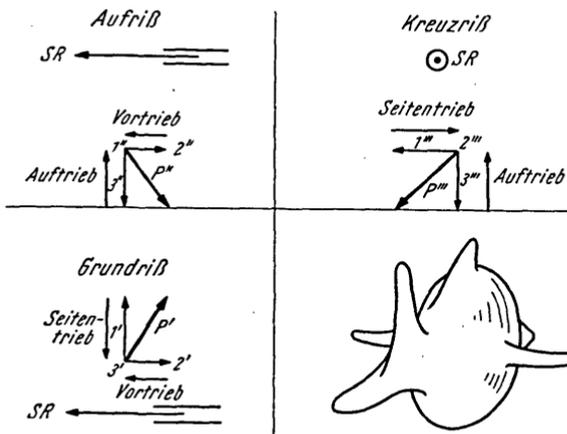


Abb. 5. Vortrieb, Seitentrieb, Auftrieb als Reaktionskräfte. Näheres im Text.

Dreiecks, die sich in den drei Projektionsebenen durch ihre drei Spuren \mathcal{E}_1 , \mathcal{E}_2 , \mathcal{E}_3 (= Schnittlinien der Dreiecksebene mit den Projektionsebenen darstellt, steht die Kraft P . Es müssen daher die drei Projektionen auf den entsprechenden

Spuren normal stehen; durch punktierte Linien in der Zeichnung angedeutet.)

In der Abbildung 5 ist die Kraft P^x in die drei Komponenten 1, 2, 3 für Vortrieb, Auftrieb und Quertrieb zerlegt. Da wir die Aktionskräfte des Ruders eingetragen haben, müssen wir, da Auftrieb, Vortrieb und Quertrieb Reaktionen sind, für diese Reaktionskräfte die Pfeilrichtung umkehren. In Abb. 5 sind die Parallelen zu den Komponenten mit verkehrter Pfeilspitze eingetragen und zu den entsprechenden Pfeilen Vortrieb, Quertrieb (= Seitentrieb) und Auftrieb eingetragen. Wir haben damit nachgewiesen, daß erst die verwendete Flosse einen Vortrieb erzeugt.

In der Abbildung 5 ist aus Sichtbarkeitsgründen das Tier von hinten gezeichnet, während in dem darüberliegenden Kreuzriß das Tier von vorn betrachtet wird. Das Tier zeigt genau die verwendete Flossenstellung, und zwar genau für die Phase, für die unsere Konstruktionszeichnung durchgeführt wurde. (Achte darauf, daß für das von hinten gezeichnete Tier Auftrieb und Seitentrieb in der

Richtung der Aktionskräfte laufen wie sich die Reaktionskräfte umkehren, wenn man das Tier einmal von vorn und einmal von hinten betrachtet.)

Wir wissen vom Wrickrudern her, daß während des Schlages das Ruder verdreht werden muß, ähnlich wie es in der Projektion die beiden Schraubenblätter eines Schiffsspropellers zeigen. Es muß also die Rotationsbewegung der Schiffsschraube (Lit. 11) mit ständigem Vortrieb durch eine Hin- und Herbewegung mit ständigem Vortrieb ersetzt werden. Auch bei der Schiffsschraube bewegt sich in der Draufsicht der eine Flügel hin, der andere her (Abb. 6).

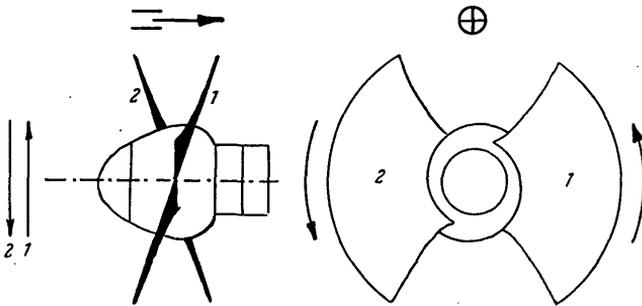


Abb. 6. Schiffsspropeller. (Nach D u b b e l.)

Durch die schraubige Verdrehung der Blätter wird in beiden Fällen ein Vortrieb erzeugt. Durch die Bewegung muß beim Hinerschlag die Wrickbewegung nachgeahmt werden. Dies kann nur geschehen, wenn bei der Hinbewegung des Ruders die Stellung des hingehenden Schraubenblattes, bei der Herbewegung die Stellung des anderen hergehenden Schraubenblattes eingenommen wird. Dies kann nur durch ständiges Verdrehen des Ruders bewirkt werden. Die Ichthyosaurierflosse besorgt dieses Verdrehen automatisch. Dadurch daß sie in ihrem schrägen, unteren, cranialen Teil durch die Wirbelsäule angetrieben wird, käme an und für sich kein günstiger Vortrieb zustande. Diese Tatsache ändert sich dadurch, daß die Basis der unteren Flossenhälfte mit der oberen Flosse verwachsen und die Flosse selbst nachgiebig und elastisch ist. Aus diesem Grunde erscheint der caudale Teil der unteren Flossenhälfte gegenüber dem cranialen Teil in der Phase verschoben, wodurch eine propellerartige Verdrehung der Flosse erzielt wird, die die Hin- und Herbewegung besonders wirksam macht. Durch dieses elasti-

sche Nachgeben wird die Bewegung besonders leicht und flüssig. Wie oben erwähnt, wurde durch die eigenartige Ausbildung und teilweise Verwachsung der unteren Flossenhälfte mit der oberen, durch den eigenartigen Antrieb und durch das von diesem allen bedingte „Nachhinken“ in der Phase der nötige Wechsel in der Richtung der Ruderschaukeln bei der Hin- und Herbewegung erzeugt. Einen einmaligen Hin- und Herschlag habe ich in Abb. 7 in sechs Phasen zerlegt.

Der obere Teil der Zeichnung 7 erklärt sich von selbst. Es wird das Tier von hinten betrachtet. Der darunterliegende Bildstreifen, mit den Zahlen 1—6 bezeichnet, ist ein gedachter Horizontalabschnitt durch den unteren Flossenteil der 6 darüberliegenden Phasen. Der dicke Schrägstrich (ohne Pfeil!) soll die Flossen in der jeweiligen Stellung andeuten. Es erscheint in dieser Ansicht nur Quer- und Vortrieb (= SR); der Auf- und Abtrieb kommt in diesem Horizontalabschnitt nicht zum Ausdruck. Die Aktionskraft der schlagenden Flosse (= Pfeil normal zur Flossenfläche) wurde in der Projektion in zwei aufeinander senkrechte Komponenten zerlegt. Da dies Aktionskräfte sind, muß für die Reaktionskräfte die Pfeilrichtung umgekehrt werden. Dies wurde in allen 6 Phasen, die den oberen 6 Phasen entsprechen, für den Vortrieb SR durchgeführt. Interessant ist, zu sehen, daß durch die Verwindung der Flosse ein konstanter Vortrieb erzeugt wird, außer in der 6. Phase, wo die Flosse umkehrt. Dort kommt nur ein Quertrieb zustande.

Im untersten Bildstreifen ist die Flosse vertikal geschnitten zu denken, und zwar frontal. In diesem Schnitt kommt der Auf- und Abtrieb und der Quertrieb zur Geltung, während der Vortrieb als Komponente nicht aufscheint. Wieder ist, wie oben, die Aktionskraft aufgetragen, bzw. ihre Projektion, und sie wurde wieder in zwei zueinander normale Komponenten zerlegt. Die Reaktionskraft ruft in Phase 1—3 ein epibatisches Moment (Kraft e), in Phase 4 keines, sondern nur Quertrieb, in 5 und 6 ein hypobatisches Moment (Kraft h) hervor. Hat die Flosse umgeschlagen, so tritt wieder ein epibatisches Moment auf. Die gebogenen Pfeile unter dieser Skizze geben die Schlagrichtung für beide Momente an.

Jede schief im Raum liegende Kraft kann man, wie wir gesehen haben, in drei Komponenten zerlegen, die den drei festgelegten Hauptrichtungen entsprechen (Abb. 5). Die Reaktionskräfte

treten dann entgegengesetzt diesen drei Aktionskomponenten auf. So erzeugt z. B. der eingeleitete Abschlag, für den die Konstruktion Abb. 4 und Abb. 5 durchgeführt wurde, eine nach oben gerichtete

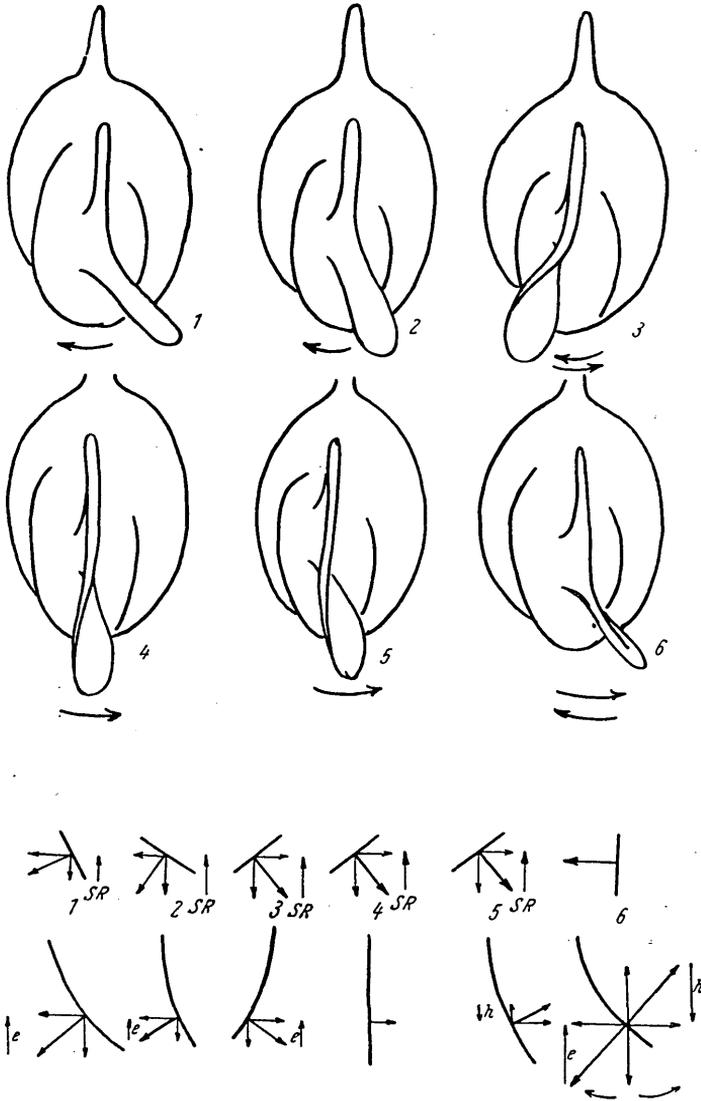


Abb. 7. Ein Hin- und Herschlag, in sechs Phasen aufgelöst, oben in natura, darunter Horizontalschnitt durch die Flosse, zu unterst frontaler Vertikalschnitt durch die Flosse, Erklärung im Text.

Reaktionskomponente, die den Schwanz des Tieres nach oben drückt (Abb. 8 a). Es tritt daher für diese Komponente ein epibatisches Moment $P \cdot a$ auf. Gleichzeitig läuft die SR-Vortriebkomponente unterhalb des Schwerpunktes vorbei und erzeugt ein hypobatisches Moment $SR \cdot b$, wenn der Körper horizontal im Wasser liegt. (Die in Abb. 8 eingetragenen Komponenten sind nur Richtungskomponenten, da die Größen der Kräfte dabei nicht berücksichtigt sind.) Liegt der Körper abwärts geneigt im Wasser, erzeugt die SR-Komponente ebenfalls ein epibatisches Moment ($SR \cdot b'$), das das epibatische Moment oder „Versenkungsmoment“ $P \cdot a'$ noch vermehrt. Liegt der Körper aufwärts im Wasser, so erzeugt die Komponente SR ein hypobatisches Moment $SR \cdot b''$, dessen Hebelarm um so länger ist, je steiler sich der Körper aufrichtet, dabei wirkt es dem epibatischen Moment $P \cdot a''$ entgegen. Dies alles gilt für die oben gezeichnete und durchkonstruierte Schlagphase.

Es treten also in den meisten Schlagphasen je nach Körperstellung epibatische und hypobatische Momente auf, und zwar als Längsmomente. Ferner treten auch in den verschiedenen Phasen des Schwanzschlages epibatische und hypobatische Momente abwechselnd auf.

Dazu kommen noch Giermomente infolge des durch den Schwanzschlag auftretenden Quertriebs und Rollmomente, bedingt durch den Drehschlag des Schwanzes.

Wegen dieser fortwährend wechselnden hypobatischen und epibatischen Längsmomente können wir uns vorstellen, daß der Ichthyosaurier „auf hoher Fahrt“ eine wogende Bewegung ausgeführt hat. W. Beebe, der ausgezeichnete Haifischbeobachter, der sich mitten unter ihnen, mit einem Taucherhelm, aufhielt, beschreibt die Bewegung der Haie als ein „langsames Heranwogen“ (Lit. 7, Bd. 1, S. 179).

Wir fragen uns nun, welche Einrichtungen sind da, um diese Störmomente auszugleichen und welche anatomische Veränderungen rufen diese funktionell bedingten Momente hervor?

Die störenden Giermomente sind verhältnismäßig leicht auszugleichen, einmal durch die torpedoähnliche Gestalt, die, einmal angetrieben, sich schwer aus der Richtung drängen läßt. Ferner ungefähr über dem Schwerpunkt die Rückenfinne von lederartiger Konsistenz angebracht, die eine Verdrehung im Schwerpunkt verhindert. Sie bilden den Gegenspieler und das Widerlager der verti-

kalgestellten, oberen Schwanzflossenhälfte, die ein rückdrehendes Ausgleichsmoment hervorruft. Außerdem bildet die Rückenflosse ein Strömungsfeld aus, so daß sie den Stauwirbel für die hintere Flosse abfängt (Lit. 12), was die längsstabilisierende Wirkung der Flosse bedeutend erhöht. Durch die weite Entfernung der Schwanzflosse vom Schwerpunkt wird dieses Ausgleichsmoment ohnehin bedeutend, da ja der Hebelarm des Momentes groß ist.

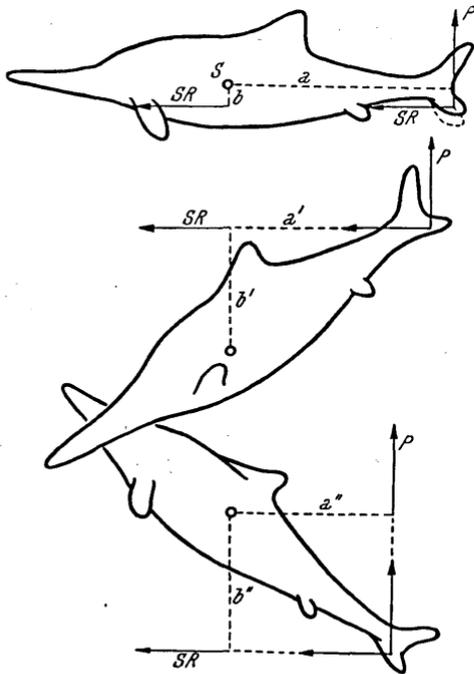


Abb. 8. Hypobatische und epibatische Momente.

Der Ausgleich eventuell störender Längsmomente wird durch die Paddeln (Abb. 16), die Rumpfschwere und Torpedogestalt gegeben.

Die Rollmomente treten durch den Drehschlag des Schwanzes auf. Diesem Drehschlag des Schwanzes stemmt sich

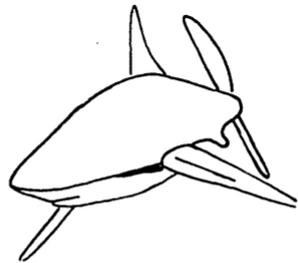


Abb. 9. Stabilisationseinrichtung beim Hai.

der Wasserwiderstand entgegen. Der Drehschlag sucht daher den Körper herumzuwerfen. Die Paddeln und die Schwere des Rumpfes verhindern dies. Ebenso die Rückenflosse. Rückenflosse und Paddeln stellen gemeinsam einen dreiflügeligen Stabilisierungsapparat vor, wie ihn der nach Hass gezeichnete Haifisch deutlich vor Augen führt (Abb. 9). Man sieht bei dieser Abbildung förmlich, wie der Drall von diesen Stabilisierungsflächen aufgefangen wird.

Betrachtet man den Ichthyosaurier-Schädel, so fällt einem die bedeutende Schädelasymmetrie, die geknickte Schädelachse und die

nicht genau frontal gestellte Schädelhinterwand auf. Alles dies steht in Zusammenhang mit dem terminalen Schwanzantrieb!

Doch ist dieser eigentümliche Schädelbau ohne Betrachtung der Wirbelsäule nicht zu verstehen. Durch die skoliotisch-kyphotische Krümmung und Torsion kommt die Wirbelsäule nicht sagittal, sondern schräg am vorderen Körperende an (s. Abb. 10). Die auf die Wirbelsäule im allgemeinen normal stehende Schädelbasis wird daher verschoben und verdreht. Mit ihr wird der Schä-

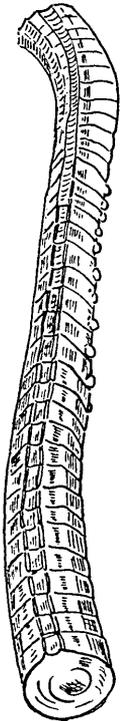


Abb. 10. Wirbelsäule von *Platypterygius platydactylus*, nach der Natur während der Montage gezeichnet.

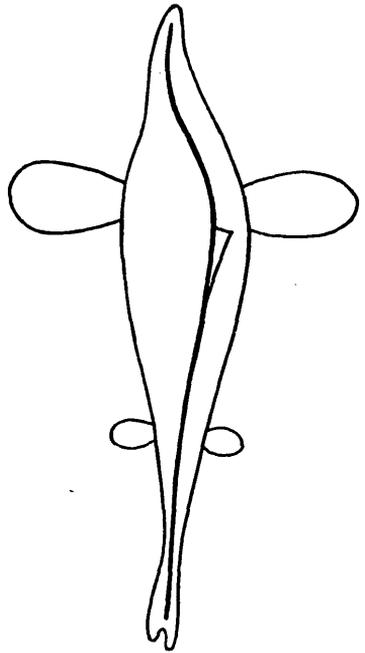
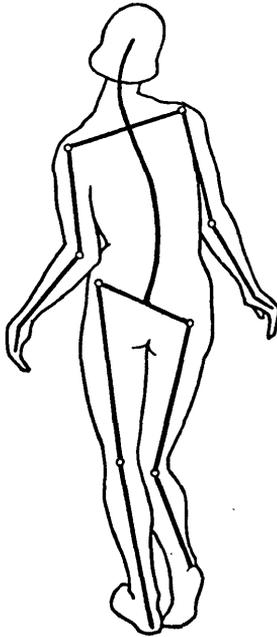


Abb. 11. Skoliosenausgleich; links Mensch, rechts *Platypterygius*.

del verdreht. Da aber der vordere Schädelteil, insbesondere die lange Schnauze, in der Schwimmrichtung sagittal liegen muß, wird mit der geknickten Schädelachse die Wirbelsäulenkyphose-Skoliose ausgeglichen. Beim Menschen wird die skoliotische Verdrehung der Wirbelsäule mit dem Hals ausgeglichen, was beim Ichthyosaurus unmöglich ist, da er wie die meisten Schwimmtiere keinen äußeren Hals besitzt (Abb. 11).

Im Skelett findet die Entwicklung und Spezialisierung der Halswirbelsäule bei den Ichthyosauriern und den Walen eine Parallele. Die Halspartie der Wirbelsäule ist wie bei den meisten schnellschwimmenden Tieren ziemlich starr und unbeweglich. Der Kopf, der keilförmig als Wellenbrecher dient, verschmilzt mit dem Rumpf zu einer Einheit und gibt dem Hals keinen Raum. Die durch den Bauplan bedingte Halslosigkeit schnellschwimmender Tiere finden wir allerwärts: Fische, Wale, Delphine. Sie zeigen eine an den vermehrten Wasserwiderstand angepaßte Körperbauweise. Bei raschen Bewegungen ist der Wasserwiderstand und Wirbelsoog bedeutend, ja bei hohen Beschleunigungen wird das Wasser wegen seiner fast vollkommenen Unzusammendrückbarkeit hart wie Stahl. (Die verheerende Wirkung von Wasserschüssen, Wasserbomben usw.) Es gilt also für schnellschwimmende Tiere der Baugrundsatz, vorspringende Kanten und Körperabsätze zu vermeiden und sich mehr oder weniger der Torpedoform zu nähern, die durch die Stromlinienform den idealen Hochseeanpassungstyp für die rasche Fortbewegung im Wasser darstellt. Dieser Vorteil kommt besonders zur Geltung, wenn, wie beim eigentlichen Torpedo, der Antrieb am hintern Körperende erfolgt. Die Stromschnittigkeit des Torpedos ist mechanisch deshalb so wirksam, weil die Strömung möglichst lang dem Körper anliegt und die einen starken Sog nach hinten ausübenden Wirbelstraßen, die durch Abreißen der Strömung bedingt sind, tunlichst verkleinert werden (Lit. 12). Jeder Körpervorsprung und jede Rauigkeit begünstigt das Abreißen der Strömung und erzeugt eine solche Wirbelstraße und bremst durch den Sog nach hinten den sich fortbewegenden Körper ab, was nur durch einen erhöhten Kraftaufwand und auch nur teilweise wettgemacht werden kann.

Die Tatsache einer starren Verbindung zwischen Kopf und Rumpf drückt sich auch im anatomischen Bau der Wirbelsäule aus. Die Halspartie der Wirbelsäule macht einen zusammenge-drängten, gedrungenen, gestauchten Eindruck. Der Halsteil ist zwischen Schädel und Rumpf starr eingespannt, da 1. und 2. Halswirbel verwachsen sind und auch der 5. und 6. Halswirbel Ansatz zur Verwachsung zeigen. Abel hat Ähnliches für rezente und fossile Wale nachgewiesen (Lit. 2). Bei Ichthyosauriern und Walen ist im Laufe der Stammesgeschichte eine gesteigerte Verwachsung der Halswirbel feststellbar. Der *Ichthyosaurus quadriscissus* aus

dem Oberlias zeigt noch deutlich eine Knochennaht zwischen 1. und 2. Halswirbel, während der *Platypterygius* (unser Exemplar sowohl wie das Castendammer) eine vollständig nahtlose Verwachsung zwischen beiden Wirbeln zeigt. Abel gibt in einer Zusammenstellung von *Balaenotus*, *Balaenula* und *Balaenica* einen stammesgeschichtlichen Überblick in Zusammenhang mit den Altersstufen der der rezenten *Balaena* (Lit. 2). Er zeigt dort, daß bei *Balaena* Verwachsung des 6. Halswirbels mit dem Hinterende der Halswirbelsäule schon vor der Geburt stattfindet, während *Balaenula* diese Verwachsung erst im erwachsenen Zustand, bei *Balaenotus* erst im Alter eintrat. Stammesgeschichtlich folgen *Balaenotus* (älteste Form) — *Balaenula* — *Balaena*, obwohl alle drei Typen nebeneinander im Mittelpliozän vorkommen. „Von den drei Gattungen erwies sich *Balaenotus* als die primitivste, während *Balaenula* die Mitte hielt (Lit. 2).“

Halsrippen tragen bei *Ichthyosaurus* zur starren Verbindung des Halses mit dem Rumpfe bei. Auch bei Walen sind solche Halsrippen zu beobachten (Lit. 13).

Wir haben gehört, daß die schief ankommende Wirbelsäule die afrontale Lage der Schädelbasis und damit die Knickung der Schädelachse bedingt. Das „Schiefankommen“ der Wirbelsäule hat in der skoliotisch-kyphotischen Wirbelsäulenverkrümmung, die mit einer Torsion verbunden ist, ihren Grund.

Doch wieso soll diese Skolio-Kyphose ihre Ursache in dem Drehschlag des Schwanzes haben?

Die Wrickbewegung ist eine Art Schraubenbewegung, also eine rotierende Bewegung; der Antrieb für die Rotationsbewegung liegt in der Wirbelsäule.

Dem Drehschlag der Schwanzflosse wirkt der Wasserwiderstand entgegen; die sich drehende Flosse wird abgebremst, und die Reaktion der Drehkraft sucht den Körper des Tieres herumzuwerfen, um seine Längsachse zu drehen. Der Körper sucht dies mit Hilfe seines Gewichtes, seiner Paddeln und Rückenflosse zu verhindern (Abb. 1). Da die Drehkraft weiter wirkt, dreht sich die Wirbelsäule in sich und krümmt sich.

Der Vorgang bei der Wirbelsäule der Ichthyosaurier ist folgender: Auch bei dieser müssen Muskeln und Sehnen schraubig spiralig verlaufen (vergleiche die Schwanzsehnen des *Ramphorhynchus*, der durch Verdrehen des Schwanzes gesteuert hat); denn

zum Antrieb wird die hintere Partie der Wirbelsäule gedreht. Im vorderen Teil wird sie durch den Körper festgehalten, der hintere Teil wird mittels der Flosse, auf die der Wasserwiderstand wirkt, abgebremst. Die Wirbelsäule wird sich daher unter dem Zug der Spiralmuskeln aufbäumen. Wenn nun der einseitige Zug der Spiralmuskeln für die bevorzugte Schlagrichtung in Betracht kommt, so wird die einseitig beanspruchte Muskulatur auch eine einseitige Wirkung auf die Wirbelsäule ausüben, die im Laufe der Zeit die Wirbelsäule entsprechend umformt (Abb. 10).

Die fortwährende und dauernde Beanspruchung der Wirbelsäule durch eine einseitige Rotation (Hauptschlag) bzw. Schraubenschlag, von dem entsprechenden Wasserwiderstand begleitet, wird sich in der Wirbelsäule naturgemäß abbilden. (Bei Flugzeugen mit einer Luftschraube sucht die Reaktion der Schraubendrehung das Flugzeug um die Längsachse zu drehen, was durch etwas asymmetrischen Bau der Tragflächen hintangehalten wird.) Da die doppelseitige kypho-skoliotische Krümmung auch eine Verdrehung mit sich bringt — wie wir aus der menschlichen Anatomie her wissen — können wir die gesamte Krümmung der Wirbelsäule als eine Verschraubung bezeichnen. So wird während der Bewegung eine Verschraubungswelle über die Wirbelsäule hinweglaufen und sich in der Wirbelsäule fixieren. Man könnte die Parallele in der menschlichen Anatomie als „Berufsschaden“ bezeichnen. Daß diese Verschraubung nicht von vornherein endgiltig bei den Ichthyosauriern bedingt war, wird durch den Neuralkanal bewiesen, der diese Verschraubung nicht voll mitmacht, sondern ein flacheres „S“ bildet als die übrige Wirbelsäule (Abb. 10). Daß die Rechts- und Linksschlägigkeit mit allmählicher Ausbildung des ausgesprochenen Wrickschlages sich später erblich fixierte, ist wahrscheinlich. Küken thal, der für die Wale den Zusammenhang der Schädelasymmetrie mit der Schwimmbewegung — allerdings in anderer Weise wie ich für die Ichthyosaurier — nachgewiesen hat, führt an, daß die Asymmetrie des Walschädels (Abb. 12) und der Schwanzflosse sich schon embryonal nachweisen läßt (Lit. 12, 13).

Die Hauptdrehbewegung erfolgte wohl in der Schwanzwirbelsäule. Die Drehung in der Rumpfregeion ist wegen der starren Verbindung mit dem Rumpf nicht möglich. Auch die Einbettung der Wirbelsäule im Gestein läßt darauf schließen, daß die Zwischenwirbelscheiben in der Schwanzregion viel dicker waren als die

zwischen den Rumpfwirbeln. Der Querschnitt durch die Wirbel erscheint meist sanduhrförmig. Die Schwanzwirbel, die mir zur Verfügung standen, haben mehr oder weniger die Form eines glatt geschliffenen Zylinders und zeigen einen rechteckigen Querschnitt mit einer Eindellung in der Mitte. Es wird wahrscheinlich in diesen Wirbeln die Drehung für den Wrickschlag eingeleitet.

Bei der Rekonstruktion und Aufstellung des Ichthyosauriers wurde zuerst die Wirbelsäule als Grundelement des Rumpfes —

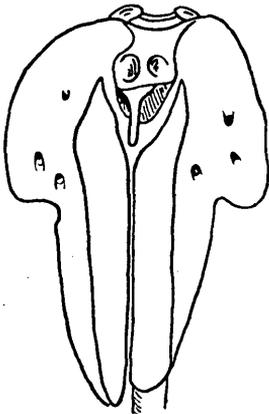


Abb. 12. Asymmetrischer Walschädel (monodon), abgeändert nach Weber: Die Säugetiere, Bd. II, Fig. 234.

soweit vorhanden — aufgerichtet. In den meisten Skelettaufstellungen befinden sich die Wirbel auf geraden Stangen oder Schienen (Brüssel) aufgereiht; diese Aufstellung ist die denkbar ungünstigste und unnatürlichste. Durch einen einfachen Kunstgriff gelang es mir, die Wirbelsäule mit ihrer natürlichen Krümmung zu montieren. Die durch diesen Kunstgriff entstandenen Wirbelblöcke wurden mit ihren Gipsbetten auf einem Holzgerüst aufgebaut (s. Abb. 13), wobei die einzelnen Abweichungen, die sich naturgemäß aus den Berechnungen und den individuellen Maßschwankungen ergaben, direkt in der Montage ausgeglichen wurden. An den vertikalen Stützen des Holzgerüsts wurden darauf Bretter befestigt, die

ungefähr den Querschnitt des Rippenkorbes hatten. Diese Bretter wurden dann durch Längsbretter verbunden, so daß der Rumpf im groben Rohbau als tonnenförmiges Brettergerüst zu erkennen war (Abb. 14). Auf dieses Brettergerüst wurde der Rumpf aufmodelliert und dieser „Rumpfkern“ der Form der vorhandenen Rippen angepaßt, die im späteren Gipsguß als Hochrelief erschienen. Unter „Rumpfkern“ verstehe ich jenen Körper, der von den Rippen eingeschlossen wird. Es gibt dieser Rumpfkern noch nicht das richtige Bild des Tieres (Lit. 14); das gilt allgemein für Skelettaufstellungen. In unserem Falle kommt die wahre Spindelform des Tieres nicht richtig zur Geltung. Gewaltige Muskelmassen reichten bis zum Ende der Dornfortsätze, die

keine feste Verschmelzung mit dem Wirbelkörper hatten, hinauf, und eine mächtige Speckschwarte lag auf der Außenseite der Rippen. Eine Vorstellung von der Form dieser Speckschwarten gaben die Formplatten dieses Rumpfkernes. Man muß zu diesem Skelettkern noch all das hinzudenken, um zum richtigen Lebensbild des Tieres zu gelangen. Meist übermitteln die Restaurationen eines Skelettes in Schausammlungen, wenn nicht eigens darauf hingewiesen wird, ein unrichtiges Bild des dazugehörigen Tieres.

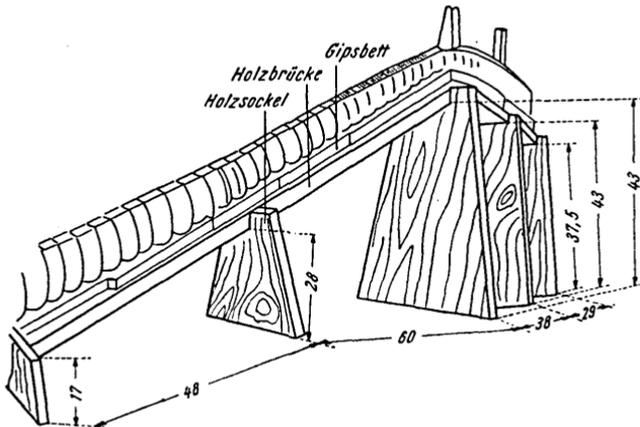


Abb. 13. Holzgerüst für die Montage der Wirbelsäule, Werkstattzeichnung.

Es galt also den eigentlichen Umriß des Tieres darzustellen, ohne die Sichtbarkeit des Skelettes einzubüßen. Da war mir die Idee gekommen, für die fehlenden Weichteile-Plexiglas zu verwenden. Dieser Plan wurde von Prof. Weigelt weitgehend unterstützt. So entschlossen wir uns, die Flossen und die Hautkontur aus Plexit herzustellen und die Idee des „gläsernen Ichthyosaurus“ war geboren. Der Gedanke, die Körperhülle eines ausgestorbenen Tieres aus Plexiglas „in natura“ darzustellen, ist meines Wissens neu, wenn auch Ausführung einer Glashülle um einen Körper vom „gläsernen Menschen“ (Hygiene-Museum in Dresden) her bekannt ist. Es war daher naheliegend, ein fossiles Tier, von dem nur das Skelett bekannt ist, in seiner natürlichen Form in Plexiglas auszuführen, ohne daß die Anschaulichkeit des Skelettes darunter leidet, ja im Gegenteil noch gehoben wird.

Nun stand ich vor der Frage: Wie fertige ich eine genaue Konstruktionszeichnung von der Glashülle an, um die Ausführung der Plexithülle werkstättenmäßig in Auftrag geben zu können. Durch ein von mir ausgebildetes technisches Verfahren gelang es, eine genaue Konstruktionszeichnung (s. Abb. 15) und einen Strakplan anzufertigen.

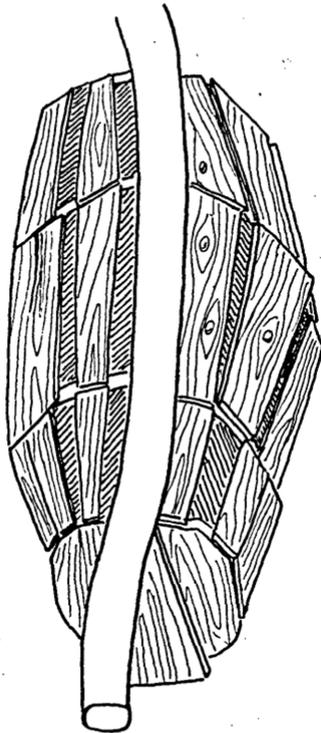


Abb. 14. Holzkörper als Unterlage für das Modellieren des Rumpfes.

Durch die Ausführung eines Aufnisses, eines Grundrisses und eines Strakplanes, der die Kontur in einzelnen aufeinanderfolgenden Schnitten angibt, war eine werkstättenmäßige Bearbeitung möglich gemacht.

Wir wollen uns wieder unserer Hauptfrage zuwenden.

Haben wir den Schwimmausgleich und die damit zusammen-

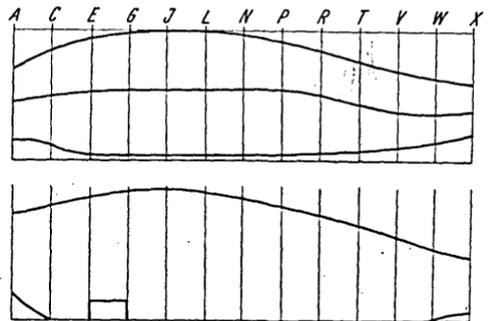


Abb. 15. Werkstättenzeichnung für den Plexiglaskörper. Oben: Ansicht von oben; unten: Ansicht von der Seite mit ausgeschnittenen Fenster für den linken Humerus. Schnitt A—X Vorbereitung für den Strakplan.

hängenden anatomischen Einrichtungen und Veränderungen bei den Ichthyosauriern genauer kennen gelernt, so schießt es sich doch, auch über die Wale einige Worte zu verlieren. Kükenthäl hat den Zusammenhang zwischen Schimmfunktion und Schädelasymmetrie klar erkannt; ferner war ihm nicht entgangen, daß dies mit der Asymmetrie der Schwanzflosse in Beziehung stände, und

daß die Schädel-Schwanz-Asymmetrie schon embryonal angelegt sei, also eine schon erblich fixierte Einrichtung sei.

Wenn auch die Deutung Kükenthals der Schädelasymmetrie etwas für sich hat, so scheint mir doch meine Deutung, die ich für die Ichthyosaurier gegeben habe, auch für die Wale richtiger und zutreffender. Der größere rechte Schwanzlappen erzeugt aus dem gleichen Grunde — allerdings vice versa —, wie ich für die Ichthyosaurier dargelegt habe, wo eine Rechtsskoliose vorliegt, eine Linksskoliose.

Die Ichthyosaurier-Rechtsskoliose kann ich mit Sicherheit nur von *Platypterygius platydactylus* behaupten. Es ist jedoch anzunehmen, daß die Skoliose und Schädelasymmetrie sich im Laufe der Zeit erblich festlegte und der Funktion ihre Bahn vorschrieb, indem die ursprünglich sekundäre Asymmetrie erblich geworden, jetzt primäre Ursache wurde, wie die Wale zeigen. Zumindestens wurde die Skoliose schon im Mutterleib erworben, während des lange Zeit dauernden Geburtsaktes, wie ihn Abel auf Grund von Funden in Analogie zum Weißwal annahm (Lit. 4). Bei der Geburt verläßt das Junge zunächst nur mit dem Schwanz den Mutterleib und wird von der Mutter erst dann endgültig entlassen, sobald sie merkt, daß das kleine Wesen seinen erlernten Schwimmrhythmus dem ihren angepaßt hat. Diese Maßnahme wurde von der Natur getroffen, damit das Junge schon perfekt schwimmen kann, ehe es den Schutz der Mutter verläßt, und so dem Zugriff der Artgenossen möglichst entgeht.

Wir haben also gesehen, daß durch die drei Krafrichtungskomponenten eines festgelegten orthogonalen Achsenkreuzes am schwimmenden Körper Momente auftreten, die wir als Rollmomente, Giermomente und Längsmomente erkannt haben; und zwar Rollmomente durch den Drehschlag, Giermomente durch den Querschlag und Längsmomente durch den Auf- und Abschlag des Schwanzes.

Die störende Wirkung dieser Momente muß ausgeglichen werden. Das wird nach außen durch verschiedene Stabilisationseinrichtungen erzielt, die bei starkem Antrieb für schnell schwimmende Räuber ganz bedeutende werden können. (Haie, Ichthyosaurier, Schwertwal usw., s. Abb. 2, 9). Die auftretenden, bei diesem schnellen Schwimmen bedeutenden Was-

serkräfte rufen auch weitgehende anatomische Veränderungen hervor.

Doch wir können diese Betrachtungen nicht abschließen, ohne uns einen funktionellen Überblick über die Wale zu verschaffen. Wenn wir die Gesellschaft der Wale betrachten (Lit. 13), kommt der Zusammenhang zwischen Ausbildung eines Stabilisationsapparates bei schnellem Schwimmen und Nahrungserwerb sinnfällig zum Ausdruck. Die Bartenwale, bei denen sehr schnelles Schwimmen zum Nahrungserwerb kein unbedingtes Erfordernis ist, haben keine oder keine nennenswerte Rückenfinne. Ebenso fehlt sie manchen theutophagen Walen. Die ichthyophagen und sarkophagen Raubwale zeigen eine gut ausgebildete Rückenflosse; allen voran der Schwertwal, *Orcinus orca*, der Fischen, Robben und kleineren Walen nachstellt, ja sogar große Wale in Rudeln angreift.

Der Zusammenhang der Nahrungsaufnahme und Stabilisation geht sogar so weit, daß wir sagen können: die Wale mit Rückenfinne haben kein Coecum, die ohne Rückenfinne haben ein solches. Es steht dabei der Besitz einer Rückenfinne und das Vorhandensein eines Coecums in ursächlichem Zusammenhang: ein klassisches Beispiel für funktionelle Faktorenkoppelung heterogener Organe.

So haben die Bartenwale ein Coecum, aber keine Rückenfinne, mit Ausnahme von *Neobalaena*, die eine kleine, sichelförmige Rückenflosse besitzt. Den Zahnwalen fehlt meist das Coecum und sie haben meistens eine Rückenfinne. Den crustaceenfressenden *Platanista* fehlt letztere, während ein Coecum vorhanden ist. Den nahe mit ihm verwandten *Iniidae* fehlt ein solches; dafür ist aber eine Finne vorhanden. Den theutophagen Delphinapteriden fehlt eine Rückenflosse, es fehlt auch das Coecum, dafür ist wie bei den Delphiniden ein Muskelmagen vorhanden.

Die ichthyophagen *Phocaeninae* und die sarkophagen und ichthyophagen *Delphininae* haben eine Rückenflosse. Zu diesen gehört *Orcinus orca*.

Noch eine Erscheinung wirft Licht auf die von mir aufgestellte Behauptung über die Ursache der Schädelasymmetrie bei den Ichthyosauriern und Walen. Die Bartenwale besitzen als weniger schnelle Schwimmer meist einen symmetrischen Schädel, während

die Zahnwale als die schnelleren Schwimmer mit bedeutenderem Antrieb meist einen asymmetrischen Schädel aufweisen.

Wenn ich bemüht war, in vorliegender Arbeit das

Schwimmproblem auch von technischer Seite her zu betrachten, so mußte ich ein Gebiet streifen, das in seinen Gedankengängen und in seiner Ausdrucksweise dem

Naturwissenschaftler etwas fern liegt. Dennoch habe ich versucht, dem interessierten Leser in verständlicher Weise einen Einblick zu gewähren, wie der technisch orientierte Naturwissenschaftler an derartige Probleme herangeht und wie er in der Lage ist, Zusammenhänge aufzudecken, die ohne technisches Einfühlungsvermögen unverständlich blieben.

Wenn es nun also gelungen ist, den naturwissenschaftlichen Leser den von mir eingeschlagenen Weg verfolgen zu lassen, so ist der Zweck der vorliegenden Arbeit erreicht.

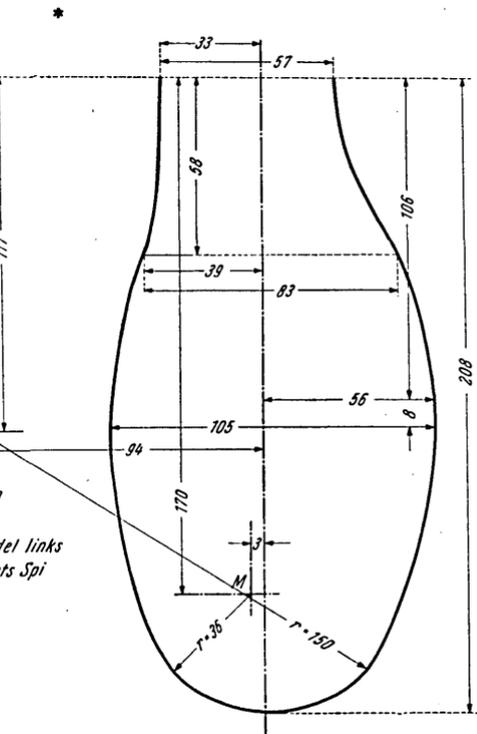


Abb. 16. Linke hintere Paddel, Beispiel einer Werkstattzeichnung.

Literatur.

1. Abel, O. Grundzüge der Palaeobiologie der Wirbeltiere. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1912. — 2. Abel, O. Die Stämme der Wirbeltiere. Vereinigung wissenschaftlicher Verleger, Walter de Gruyter & Co., Berlin und Leipzig 1919. — 3. Abel, O. Lebensbilder aus der Tierwelt der Vorzeit. Verlag Fischer, Jena 1932. — 4. Abel, O. Das Reich der Tiere. Tiere der Vorzeit in ihrem Lebensraum. Im deutschen Verlag, Berlin 1939. —

5. Abel, O. Ein Beispiel für die Vorverlegung von Altersstufen in Jugendstadien im Laufe der Stammesgeschichte der Bartenwale. *Palaeobiologica*, Bd. VII, Heft 4; Verlag Springer, Wien 1941. — 6. Bauer, Fr. Die Ichthyosaurier des Ob. Weißen Jura. *Palaeontographica* XLIV, 1897/98. — 7. Böker, H. Vergleichende biologische Anatomie der Wirbeltiere. Verlag Fischer, Jena, 1935. — 8. Brehms Thierleben. Verlag des Bibliographischen Instituts, Leipzig, 1877. — 9. Broili, F. Ein neuer Ichthyosaurier aus der norddeutschen Kreide. *Palaographica* LIV, 1907—08. — 10. Broili, F. Neue Ichthyosaurierreste aus der Kreide Norddeutschlands. *Palaeographica* LV, 1908—09. — 11. Dubbel, H. Taschenbuch für Maschinenbau. Verlag Springer, Berlin 1939. — 12. Eck, Br. Technische Strömungslehre. Verlag Springer, Berlin 1941. — 13. Grimpe, G. Brehms Tierleben in einem Band. Bibliographisches Institut, Leipzig 1928. — 14. v. Huene, F. Übersicht über die Reptilien des Trias. Verlag Fischer, Jena 1902. — 15. v. Huene, F. Beiträge zur Kenntnis der Ichthyosaurier im deutschen Muschelkalk. *Palaeontographica* LXII, 1916—19. — 16. v. Huene, F. Die Ichthyosaurier des Lias und ihre Zusammenhänge. Verlag Gebr. Borntraeger 1922. — 17. v. Huene, F. Neue Studien über Ichthyosaurier aus Holzmaden. Selbstverlag der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft, Frankfurt a. M. Bd. 42, Lief. 4, 1931. — 18. Kripp, D. Lebensbild von Pteranodon ingens auf flugtechnischer Grundlage. *Nova Acta Leopoldina* Nr. 83, Bd. 12. Halle/Saale 1943. — 19. Kükenthal, W. Ursache der Asymmetrie der Walschädel. *Anatomischer Anzeiger*, XXXIII, 1908. — 20. Schwalbe, G. und E. Fischer. *Anthropologie*. Verlag Teubner, Leipzig und Berlin 1928. — 21. Steinmann, G. und L. Döderlein. *Elemente der Paläontologie*. Verlag Engelmann, Leipzig 1890. — 22. Weber, M. Die Säugetiere. Verlag Fischer, Jena 1928. — 23. Weigelt, J. *Rezente Wirbeltierleichen und ihre paläontologische Bedeutung*. Verlag Max Weg, Leipzig 1927. — 24. v. Zittel, K. *Grundzüge der Paläontologie*. Bd. II, *Vertebrata*. Verlag Oldenburg, München und Berlin 1911.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Österreichische Zoologische Zeitschrift](#)

Jahr/Year: 1954

Band/Volume: [04](#)

Autor(en)/Author(s): Kripp Dominik

Artikel/Article: [Schwimmtechnische Betrachtungen bei großen Hochseeschwimmern mit terminalem Antrieb, vornehmlich bei Ichthyosaurier. 460-488](#)