

Nr. 4.

1918

Sitzungsbericht
der
Gesellschaft naturforschender Freunde
zu Berlin

vom 9. April 1918.

Ausgegeben am 15. Juni 1918.

Vorsitzender: Herr G. TORNIER.

Herr VIRCHOW sprach über die Mechanik der Kranich-Wirbelsäule und über die Wirbelsäule des Bibers.

Über die Wirbelsäule des Kranichs.

VON HANS VIRCHOW.

(Mit 11 Figuren.)

Einleitung. — Seit langem hatte ich den lebhaften Wunsch, die Wirbelsäule eines Kranichs untersuchen zu können, um die Ursachen für den Unterschied ihrer Haltung von der Reiherwirbelsäule zu ergründen. Dieser Wunsch ging in Erfüllung, indem am 16. März 1918 das anatomische Institut in die Lage kam, den Rumpf eines Mandschurenkranichs (*Grus viridirostris*) aus dem Berliner zoologischen Garten zu erwerben. Es war ein weibliches altes Tier. Das letztere hebe ich hervor, weil dieser Umstand vielleicht einen Einfluß auf die Beweglichkeit gehabt haben kann.

Der Unterschied in der typischen Haltung des Halses beim Kranich und Reiher ist auffallend. Während bei letzterem, wenn er ruhig steht, der Kopf dem Thorax anliegt und der Hals in Form einer stark geknickten Schleife vom Thorax nach vorn ragt, geht beim Kranich, so wie es auf japanischen bildlichen und plastischen Darstellungen in hundertfacher Wiederholung zur Anschauung gebracht wird, der Hals von dem steil aufgerichteten Rumpf senkrecht empor, indem er in seinem unteren Abschnitt eine leichte, dorsalwärts gerichtete Konkavität bildet und mit seinem obersten kurzen Stück, welches den Kopf trägt, vorwärts gebogen ist. Indessen führt auch der Vogel mit seinem Halse ausgiebige Bewegungen aus. Gerade die Frühjahrszeit, in welcher die Tiere

lebhaft sind, bietet bei dem trotz der Kriegszeit noch immer reichen Kranichbestand des Berliner zoologischen Gartens gute Gelegenheit zur Beobachtung. Man kann einerseits sehen, wie sich ein Kranich unter starker ventraler Biegung des oberen Halsabschnittes die Mitte des Halses mit dem Schnabel kraut und andererseits, wie er die untere Hälfte des Halses so stark dorsalwärts biegt, daß er den Kopf dicht hinter dem Halsansatz auf den Rücken auflegt. Besonders *Balearica* scheint stärker gebogene Haltungen gern anzunehmen. Die Möglichkeit ausgiebiger Bewegungen ist also vorhanden, und es ist daher selbst für denjenigen, der durch häufige Beobachtung ein feineres Gefühl für die Unterschiede in den Haltungen und Bewegungen des Kranichhalses gegenüber anderen Vogelhälsen erworben hat, unmöglich zu wissen, ob es sich um Verschiedenheiten der Gewohnheiten oder um solche des anatomischen Baues handle. Dem Fernerstehenden erst gar, welcher Vögel nur selten und nur flüchtig beobachtet, mag der Vogelhals in seinen Bewegungen ganz uneingeschränkt erscheinen, wobei die Schärfe der Auffassung noch erheblich dadurch leidet, daß die Umkleidung durch das Gefieder nicht die Verteilung der Bewegungen auf die einzelnen Abschnitte des Halses mit völliger Schärfe erkennen läßt. So bekommt der Vogel mit seinen Halsbewegungen etwas von einem Kautschukkünstler. Und doch besteht absolute Freiheit der Bewegung nicht. Abgesehen davon, daß Drehfähigkeit fehlt (mit Ausnahme der Atlas-Hinterhauptverbindung und Atlas-Epistropheusverbindung) und nur durch Kombination von seitlichen Biegungen und sagittalen Biegungen vorgetäuscht wird, abgesehen ferner davon, daß bei stärkerer seitlicher Biegung die Neigung besteht, in sagittale Biegung umzuschnappen, ist auch die sagittale Biegung selbst mit Einschränkungen versehen, indem manche Abschnitte des Halses nur nach der ventralen, andere nur nach der dorsalen Seite gebogen werden können. Diese sehr bestimmten Beschränkungen auf der einen und die große Ausgiebigkeit der Bewegungen auf der anderen Seite liefern die Eigenart, das oft barock und launisch Erscheinende, dem Beschauer nicht unmittelbar Verständliche, von ihm falsch Gedeutete in den Bewegungen des Vogelhalses, weil er auf Muskeltätigkeit und Willkür bezieht, was durch Skelettbau bedingt und zwangsmäßig ist; ebenso wie die eigentümlich steife, gravitatische, umständliche Gangart der Vögel nicht etwa Angewohnheit, sondern Zwang, mechanische Notwendigkeit ist.

Beobachtungen an der Wirbelsäule des Kranichs haben nicht nur Wert, um die Erscheinung des lebenden Kranichs selbst verständlich zu machen, sondern sie haben, wie Beobachtungen an

jeder Wirbelsäule, den Nutzen, tiefer in das Verständnis der Mechanik dieses Skelettabschnittes hineinzuführen. Das Problem der Wirbelsäulenmechanik ist kein so einfaches und leicht verständliches, als welches es im allgemeinen gilt, sondern ist in Wahrheit sehr verwickelt und schwer verständlich; nur kommt man im Anfange gar nicht auf die vielen Schwierigkeiten, die hier vorhanden und dadurch bedingt sind, daß die Wirbelsäule vielen Anforderungen zugleich zu genügen hat. Die scheinbare Einfachheit ist nur dadurch entstanden, daß man die Gewohnheit einer früheren Zeit beibehalten hat, das ganze Problem deduktiv von einem einzigen Gesichtspunkte, meist dem statischen, zurechtzumachen. Eine solche Einseitigkeit ist aber nicht nur unberechtigt, sondern geradezu armselig, und nichts kann uns besser davon heilen, als eine vergleichende Betrachtung tierischer Wirbelsäulen in der großen Mannigfaltigkeit ihres Baues und ihrer Verwendung.

Hierbei ist auch noch eine Erwägung anzustellen über das Verhältnis der bindegewebigen Formationen einerseits und der Muskeln andererseits zu Haltungen und Bewegungen. Wir gehen an die Betrachtung der Bewegungsapparate heran mit der Vorstellung, daß die Muskeln das Bewegende und das Skelett das Bewegte ist. Diese Vorstellung ist auch im allgemeinen richtig; man kann aber doch bei einer gedankenlosen Anwendung derselben auf den lebenden Organismus zu großen Irrtümern kommen. Wenn ein bei seiner Arbeit sitzender Mensch stundenlang den Mund geschlossen hält, also nicht den Kiefer hinabfallen läßt, so ist es klar, daß dies nicht durch Bänder, sondern durch Muskelarbeit bedingt wird, obwohl es sich dabei nicht um Bewegung, sondern um Haltung handelt. Dagegen ist es schon nicht so klar, und sogar der Mehrzahl der Anatomen unbekannt, daß das laterale Seitenband des Kniegelenks bei allen Haltungen des Knies mit Ausnahme der Streckstellung erschlafft ist, und daß ein Muskel, der Popliteus, die Sicherung an der lateralen Seite des Kniegelenks übernimmt. Ebenso wenig macht man sich für gewöhnlich klar, welche Fülle von Muskeleinzelaktionen in jedem Augenblick ausgeübt wird, um die Wirbelsäule in irgend einer Lage zu erhalten. Auf der anderen Seite hat auch wieder die Binde substanz an Bewegungen der Wirbelsäule einen sehr wesentlichen Anteil, und zwar dasjenige Glied der Binde substanzgruppe, welches wegen seiner kautschukartigen Dehnbarkeit als elastische Substanz bezeichnet wird. Wenn man die frische Wirbelsäule eines Wiederkäuers, welche von Rippen und Muskeln befreit, aber noch mit dem Nackenbande versehen ist und noch den Kopf trägt, horizontal hält, wobei der Kopf durch

die Schwere ventralwärts gezogen wird, und wenn man dann den Kopf nur etwas aus der Medianebene nach rechts oder nach links hinausgehen läßt, so wird der Hals schnellend nach hinten (kaudalwärts) herungeworfen in derselben Weise, wie wir es auch beim lebenden Tiere bemerken, wenn es etwa die Fliegen am vorderen Teil seines Rückens verscheuchen will. In dieser Bewegung, welche uns so sehr als Ausdruck des Lebens erscheint, steckt also ein gutes Stück von Bindesubstanzmechanik. Wer dies einmal gesehen und beachtet hat, wird die Bewegungen des lebenden Tieres mit ganz anderen Augen, mit ganz anderem Verständnis auffassen, wie derjenige, dem diese anatomische Kenntnis fehlt. Deswegen ist es auch für mich immer ein schlagender Beweis für die Gleichgültigkeit, mit welcher die Anatomen den reizvollen Erscheinungen der Wirbelsäulenmechanik gegenüber stehen, wenn immer von einem „Nackenband“ in der Weise gesprochen wird, als käme dasselbe allen Säugetieren und auch dem Menschen zu, während doch in dieser Hinsicht sehr weitgehende Unterschiede bestehen.

Auch bei den Vögeln gibt es in Hinsicht auf die elastischen Bänder an der Rückseite der Wirbelsäule Unterschiede, von welchen der wichtigste der ist, daß in manchen Fällen ein solches Band hinter einer größeren Anzahl von Wirbeln hinwegzieht, wie ich es z. B. bei *Rhea darwini* gefunden habe, während in anderen Fällen nur Einzelbänder von Wirbel zu Wirbel vorhanden sind.

Disposition. — Ich werde nun immer die Bewegungsmöglichkeiten für einen Abschnitt der Wirbelsäule angeben, wie sie sich durch die Untersuchung an dem frischen Präparat ergeben haben, und daran anschließend diejenigen anatomischen Einzelheiten besprechen, welche für diesen Abschnitt Bedeutung haben.

I. Atlas-Hinterhaupt-Verbindung.

A. Bewegungsmöglichkeiten.

1. Sagittale Flexion. — Nach Augenmaß 100°.
2. Seitliche Flexion. — 45° nach jeder Seite.
3. Drehung. — 45° nach jeder Seite.

B. Anatomische Einrichtungen. — Die weite und freie Beweglichkeit, wie sie sich in den eben gegebenen Zahlen ausspricht, ist eine allgemeine Eigentümlichkeit des Kopfes der Vögel ebenso wie desjenigen der Reptilien. Ihr müssen natürlich bestimmte anatomische Einrichtungen dienen. Von diesen ist am bekanntesten der unpaare (mediane) annähernd kugelige *Condylus occipitalis*. Derselbe ist jedoch keineswegs bei allen Vögeln ganz genau gleich gestaltet. Bei unserem Kranich ist er annähernd nierenförmig.

d. h. ventral und seitlich rund begrenzt und dorsal mit einer Einkerbung versehen. Seine Wölbung ist seitlich (rechts und links) stärker wie ventral und wie auf dem Scheitel.

Die Pfanne, in welcher dieser Condylus ruht, ist nur ventral und an beiden Seiten durch den Knochen (Atlas) gebildet; der Grund derselben und die dorsale Wand sind knorpelig. In diesem Knorpel findet sich, sowie es auch bei anderen Vögeln und bei Reptilien der Fall ist, eine Öffnung, welche in den Gelenkraum zwischen Atlas und Epistropheus hineinführt (Figur 1). Dieselbe

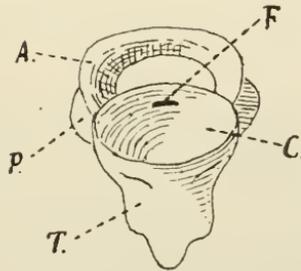


Fig. 1. Atlas von der ventralen und etwas von der kranialen Seite, so daß man in die durch ihn mit Ergänzung durch Knorpel gebildete Pfanne hineinblicken kann; vergrößert.

A. Hinterer Bogen. C. Pfanne. F. Schlitzförmige Öffnung in der hinteren Wand der Pfanne. P. Gelenkfortsatz zur Verbindung mit dem Epistropheus. T. Das in drei Höcker geteilte stark kaudalwärts ragende Tuberculum anterius.

ist nicht im Grunde der Pfanne, sondern in deren dorsaler Wand gelegen. Sie ist 1 mm breit (von rechts nach links), schlitzförmig und kaum sichtbar, da ihre ventrale und dorsale Lippe sich berühren. Von der kaudalen Seite her liegt ihr die Spitze des Zahnes an, und durch ein der letzteren anhängendes Synovialzöttchen ist noch besonders für den Abschluß der Öffnung gesorgt. Auch diese Einrichtung scheint bei Vögeln allgemein zu sein, und man kann sich immer wieder darüber wundern, daß einerseits die Verbindung zwischen beiden Gelenkräumen besteht und doch andererseits ein solcher Abschlußmechanismus vorhanden ist. Was das zu bedeuten habe, ist mir bisher nicht klar geworden.

Die Membrana atlanto-occipitalis ist ziemlich kräftig; sie schien mir seitlich dicker wie dorsal und ventral. Von ihr geht ein queres (frontal gestelltes) Septum aus, welches den Gelenkraum gegen den Wirbelkanal abgrenzt und die dorsale Pfannenlippe mit dem vorderen Rande des Hinterhauptloches in Verbindung setzt; ein isoliertes Spitzenband konnte ich nicht wahrnehmen.

Ich habe auch dißmal wieder darauf geachtet, ob zwischen Schädel und Atlas besondere Bänder vorhanden seien, konnte aber nichts derartiges finden. Der Kopf ist also nur durch die allerdings starken Nackenmuskeln gesichert und kann deswegen, weil er des Schutzes der Bänder entbehrt, so leicht abgedreht werden. Die Membrana atlanto-occipitalis ist, wie es ja bei den weiten Exkursionen der Fall sein muß, weit und schlaff. Infolgedessen ist auch eine gewisse Abziehung des Kopfes aus der Pfanne möglich, aber nur in Mittellage und nicht bei dorsaler und ventraler Endstellung. Sie würde noch größer sein, wenn sie nicht durch das erwähnte Septum gehindert würde, welches mithin eine nicht zu unterschätzende mechanische Bedeutung hat.

II. Atlas-Epistropheus-Verbindung.

A. Bewegungsmöglichkeiten.

1. Drehung. — Etwa 10° nach jeder Seite (vielleicht etwas mehr).
2. Sagittale Flexion. — Nur spurweise vorhanden.
3. Seitliche Flexion. — Fehlt.

Um die sagittale Flexion zwischen Schädel und Atlas und die möglicherweise auch vorhandene zwischen Atlas und Epistropheus noch genauer festzustellen und zu veranschaulichen, zog ich eine Methode herbei, welche ich schon früher bei Säugetieren und auch bei einem Vogel (*Rhea darwini*) angewendet hatte¹⁾: am frischen Präparat wurden Epistropheus, Atlas und Hinterhaupt auf der einen Seite sauber geschabt mit Schonung der Bänder, einmal in dorsale Flexion gebracht und abgegipst, das andere Mal in ventrale Flexion gebracht und auch da abgegipst; nach dem Macerieren wurden Epistropheus und Atlas halbiert, aus dem Hinterkopf die eine Hälfte herausgesägt und auf den Schnittflächen des Schädels, Atlases und Epistropheus je eine Orientierungslinie gezogen; dann die Knochen erst in die eine Form gelegt und in natürlicher Größe photographiert, dann in die andere Form gelegt und wieder photographiert. Auf den Photos ließen sich nun die Winkel bestimmen, welche die Schädellinie mit der Atlaslinie und die Atlaslinie mit der Epistropheuslinie bildeten, und durch Vergleich der Winkel von beiden Figuren der Spielraum der sagittalen Flexion für beide Gelenke ausrechnen. Es ergaben sich für die Bewegung zwischen Schädel und Atlas 97° und für die zwischen Atlas und Epistropheus 7° .

¹⁾ Über das Hinterhauptsgelenk von *Rhea darwini*. Diese Sitzungsberichte Jahrg. 1917 S. 230—232.

Ich lege dieser umständlichen Methode keinen allzu großen Wert bei, soweit es sich um Feststellung der Winkel handelt. Wie man sieht, ergibt für die Atlas-Hinterhauptverbindung die Bestimmung nach Augenmaß (100°) und diejenige nach Form (97°) so gut wie das gleiche. Es macht sich natürlich gut, d. h. es macht einen „exakten“ und „wissenschaftlichen“ Eindruck, wenn man den Ausschlag einer Bewegung „auf den Grad genau“ angeben kann. Aber diese Angabe hat in Wahrheit nicht den Wert, den sie zu haben scheint, denn es ist sicher, daß, wenn der Kopf durch Anspannung der Muskeln fest an den Atlas und der Atlas ebenso an den Epistropheus angedrückt ist, wie es ja im Leben bei den aktiven Bewegungen des Tieres der Fall sein muß, die Bewegung etwas anders ausfällt wie am anatomischen Präparat. Für eine annähernd genaue Bestimmung aber genügt der Augenschein, wie sich in diesem Falle gezeigt hat und wie ich auch bei anderen Gelegenheiten gesehen habe.

Ich muß sogar in einer Hinsicht dem Formverfahren mißtrauen, nämlich soweit die Bewegung des Atlas gegen den Epistropheus in Betracht kommt. Der Atlas des Vogels ist so schmal, daß das Lager für ihn in der Gipsform nicht hinreichend sicher ist, und es war auch tatsächlich beim Einlegen der Knochen in die Formen für den Atlas nicht eine so sichere Stellung zu erreichen wie für den Schädel und für den Epistropheus. Deswegen muß ich auch die Zuverlässigkeit der oben angegebenen 7° für die sagittale Verschiebung des Atlas gegen den Epistropheus anzweifeln und mich auf meine Angabe beschränken, daß eine solche Bewegung nur spurweise vorhanden war. Diese spurweise Bewegung aber möchte ich auf Abhebelung zurückführen und glauben, daß sie im lebenden Tier bei Anspannung der Muskeln überhaupt gar nicht vorkommt.

B. Anatomische Einrichtungen. — Ist nun aber auch das Formverfahren für die Feststellung der Exkursion des Schädels gegen den Atlas entbehrlich und für das des Atlas gegen den Epistropheus sogar irreführend, so ist es doch in einer anderen Hinsicht wertvoll, indem es uns nämlich zu Vorstellungen über die Lage der Knochen zu einander verhilft, welche wir ohne das nicht besitzen würden, wie der Vergleich der Figuren 2a und 2b zeigt. Es kommt dabei zweierlei in Betracht; die Stellung des Schädelcondylus zur Pfanne und die Stellung des hinteren Bogens des Atlas zum hinteren Rande des Hinterhauptsloches.

Der Hinterhauptscondylus füllt, wie man sieht, bei dorsaler Flexion die Pfanne aus, während er sich bei ventraler Flexion am

hinteren Rande der letzteren emporhebt und nur mit seinem vorderen Abschnitt in der Pfanne ruht; es kommt sogar wie es scheint dabei die ventralwärts gerichtete Abschrägung der Spitze des Zahnes als pfannenergänzend, bzw. die hintere Wand der Pfanne stützend in Betracht.

Was aber die Beziehungen des hinteren Bogens des Atlas zum hinteren Rande des Hinterhauptsloches betrifft, so ist es auf den ersten Blick so auffällig, daß es den Eindruck der Unwahrscheinlichkeit macht. Während nämlich bei ventralwärts flektiertem Kopf der Abstand zwischen dem Atlas und dem Rande des Hinterhaupts-



2 a

2 b

Fig. 2a. Mediansehnitt von Hinterhaupt, Atlas und Epistropheus in dorsaler Flexion nach Form.

Fig. 2b. Dasselbe wie 2 a in ventraler Flexion.

loches sehr groß ist (Figur 2 b), so ist bei dorsal flektiertem Kopf der hintere Atlasbogen sogar in das Hinterhauptsloch eingetreten (Figur 2 a), und man muß sich fragen, in welche Lage denn nun die Membrana atlanto-occipitalis posterior gekommen sei. Ich habe aber die gleiche Lage der Knochen schon früher bei der *Rhe dawini* beschrieben und auch damals schon auf diesen befremdlichen Anblick hingewiesen. Es würde sich empfehlen, einmal an einem frischen, noch mit Muskeln versehenen Präparat den Vogelkopf in dorsale Flexion zu bringen, das Präparat zu härten, zu entkalken und median zu durchschneiden. Einstweilen aber ist es immerhin

beruhigend, daß sich hier gleiche, wenn auch so auffallende Befund an zwei verschiedenen Vögeln ergeben hat.

Es ist nun noch einiges über die Atlas-Epistropheus-Verbindung zu sagen.

Der Zahn hat die Gestalt einer querstehenden Leiste, indem er in querer Richtung breiter, in cranio-caudaler Richtung abgeplattet ist. Seine Spitze ist von einer kleinen, schiefstehenden, ventralwärts abfallenden Fläche eingenommen, auf welcher sich eine kleine Delle findet, in der wieder ein punktförmiges Grübchen zu sehen ist.

Die Verbindung von Atlas und Epistropheus ist das Vollkommenste, was man sich von Drehmechanismus denken kann, weit vollkommener, als man es jemals bei einem Säugetier trifft. Es findet sich nämlich an der ventralen Seite des Zahnes eine Rinne, welche die Basis des Zahnes bogenförmig umgibt, und an der ventralen Seite dieser Rinne eine gleichfalls bogenförmige Erhebung. Indem nun noch das kaudalwärts ragende Tuberculum anterius atlantis an der ventralen Kante des Epistropheus schleift, so ist zwischen beiden Knochen ein stark s-förmig gekrümmter Spalt hergestellt, welcher eine ganz sichere Führung gewährleistet. Es scheint mir, daß die Rinne tiefer ist wie bei anderen Vögeln.

Es ist endlich noch hervorzuheben, daß Atlas und Epistropheus durch Gelenkfortsätze verbunden sind. Die Gelenkflächen dieser Fortsätze sind nicht wie bei den übrigen Wirbeln nach dem Radius-typus, sondern nach dem Kreisbogentypus gestellt, wie es ja dem Drehmechanismus entspricht. Der Winkel, welchen die rechte und linke Fläche am Epistropheus miteinander bilden, beträgt 6° . An diesen Flächen ist noch bemerkenswert, daß sie in querer Richtung ausgedehnter sind wie in kranio-kaudaler Richtung; sie messen nämlich in ersterer 3,5 mm, in letzterer 2,5 mm. Auch dies läßt sich daraus erklären, daß es sich um einen Drehmechanismus handelt.

Angesichts dieser so sorgfältigen Ausführung des Drehmechanismus und der weitgehenden Sicherungen gegen andere Bewegungen muß noch einmal darauf hingewiesen werden, daß die Drehung selbst so unbedeutend ist, wie weiter oben angegeben wurde, nur etwa 10° nach jeder Seite, während die des Kopfes gegen den Atlas 45° beträgt. Dieser Befund ist jedoch, wie ich aus früheren Untersuchungen schließen muß, bei Vögeln allgemein.

III. Halsabschnitt.

Man ist bei Vögeln immer in Verlegenheit, wohin man die Grenze zwischen Halsteil und Brustteil der Wirbelsäule legen solle.

Es gibt nämlich an einem Wirbel ein seitliches Ansatzstück, welches nicht länger ist wie die Querfortsätze der vorausgehenden Halswirbel und auch genau die gleiche Gestalt besitzt wie diese, welches aber dabei genau in derselben Weise mit dem Wirbel verbunden ist wie eine Rippe und auch die gleiche Beweglichkeit

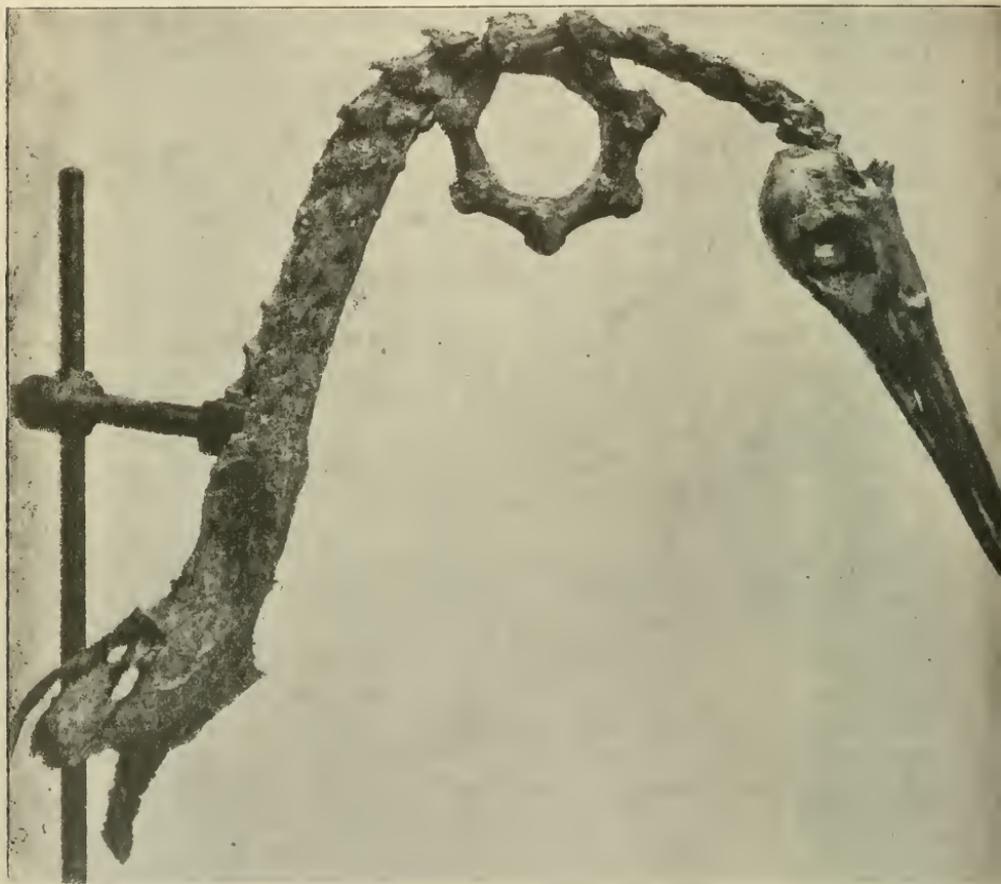


Fig. 3. Alle Teile der Wirbelsäule, auch der Kopf, sind in dorsale Flexion gebracht, mit Ausnahme des Schwanzes.

hat. Es ist daher nicht Sache der Notwendigkeit, sondern des Übereinkommens, ob man den Wirbel, welcher dieses Stück trägt, dem Halsteil oder dem Brustteil zurechnet. Ich tue das letztere und finde demgemäß in unserem Falle 17 zervikale und 10 rippentragende Wirbel, von welchen aber die beiden letzten dem „Kreuzbein“ angehören.

A. Bewegungsmöglichkeiten.

1. Sagittale Flexion.

a) In dorsaler Richtung. — Bis zu c. 6 ist nur gerade Streckung möglich. Von der Verbindung von c. 6 und c. 7 an stellt sich Flexion ein, die sich an der Verbindung von c. 7 mit c. 8 steigert und bei den folgenden Verbindungen noch mehr zunimmt. Sie wird

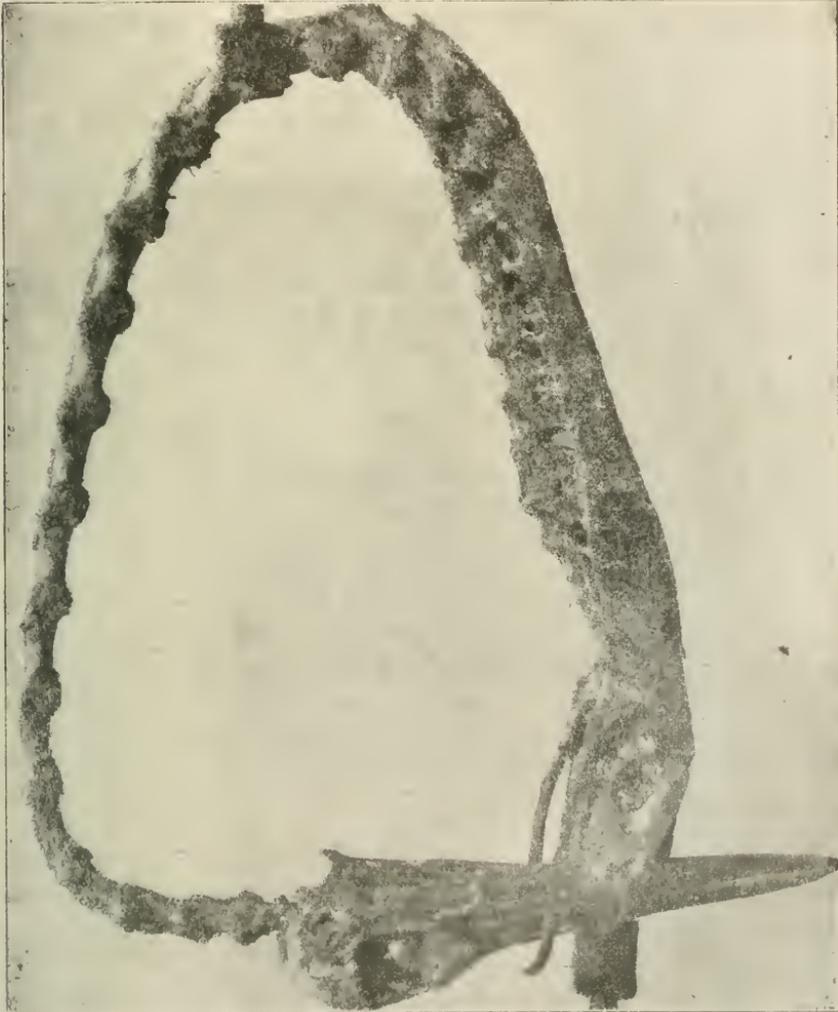


Fig. 4. Die Hals- und Brustwirbelsäule in ventraler Flexion; jedoch ist diese Stellung nicht dem Kopfe und auch nicht dem obersten Stück des Halses bis zu c. 4 gegeben.

so bedeutend, daß mit dem von c. 8 bis c. 15 reichenden Abschnitt ein enger Kreis geschlagen werden kann. Diese dorsale Biegsamkeit nimmt schon an der Verbindung von b. 14 mit c. 15 ab und hört an der von c. 17 mit t. 1 auf.

b) In ventraler Richtung. — Bis zur Verbindung von c. 5 mit c. 6 ist diese Biegunngsmöglichkeit vorhanden, und zwar an den oberen Wirbeln stärker, zwischen c. 5 und c. 6 nur unbedeutend. Dann folgt ein bis zu c. 13 reichender Abschnitt, in welchem in ventraler Richtung nur gerade Streckung möglich ist. Es schließt sich ein Abschnitt an mit erneuter ventraler Biegsamkeit, an der Verbindung von c. 13 und c. 14 auch wieder ganz schwach beginnend und gerade bis zum unteren Ende des Halsteiles reichend, indem zwischen t. 1. und t. 2 nur noch gerade Streckung möglich ist. Diese ventrale Biegsamkeit hat ihren höchsten Grad an der Verbindung von c. 16 mit c. 17.

2. Seitliche Biegung. — Dieselbe beträgt nahezu 180° , läßt sich aber schwer genauer bestimmen, weil bei starker Biegung eine unüberwindliche Neigung hervortritt, in sagittale Richtung umzuzuschnappen.

3. Drehung. — Fehlt.

B. Anatomische Einrichtungen. — Der Halsteil besitzt eine Reihe von bemerkenswerten Eigentümlichkeiten, welche wohl zum Teil aus dem erklärt werden können, was man an Bewegungen beim lebenden Tier und an Bewegungsmöglichkeiten an der frischen Wirbelsäule wahrnimmt, welche aber doch zum großen Teil unverständlich bleiben. Es verhält sich damit nicht anders wie auch bei anderen Wirbelsäulen. Wir können daraus ersehen, daß die mechanischen Einzelprobleme, welche sich in dem Gesamtproblem der Wirbelsäule verbergen, so fein und verwickelt sind, daß wir sie bisher noch nicht zu erfassen, geschweige denn zu lösen vermögen. Es wird daher auch einiges zur Sprache kommen, was nur als Tatsache einstweilen verzeichnet werden kann, ohne daß es bisher völlig verständlich ist.

Elastische Bänder. — Es ist jetzt an der Zeit, von den elastischen Bändern zu sprechen, welche an dieser Wirbelsäule ebenso wie an anderen Vogelwirbelsäulen als ein so wichtiger Faktor in die Mechanik eintreten. Wie wichtig sie sind, ergibt sich aus der Betrachtung der Eigenform (Figur 5), welche wesentlich durch sie bestimmt ist und welche an dieser Stelle beschrieben sein mag.

Eigenform der Wirbelsäule nach Abnahme des Kopfes. — Die 6 ersten Wirbel stehen in gerader Linie ohne dorsale und

ohne ventrale Biegung; dann folgen der 7. bis 15., welche zusammen einen Kreis mit 7 cm lichter Weite bilden; der Rest steht wieder in gerader Linie. So sieht die ganze in Eigenform liegende, d. h. sich selbst überlassene Wirbelsäule wie ein gerader Stab aus, welchem auf der dorsalen Seite ein Ring angesetzt ist.

Wie man aus dem Vergleich der Figur 5 mit der Figur 3 sieht, ist der Ring, welcher bei dorsaler Biegung der ganzen Säule hergestellt werden kann, und derjenige, welchen die sich selbst überlassene Wirbelsäule durch die Wirkung der elastischen Bänder von sich aus bildet, gleich gelegen und gleich weit, und das ist der beste Beweis, daß bei der Herbeiführung der in Figur 3 wiedergegebenen Dorsalflexion nicht gewalttätig verfahren, kein aufsehenerregendes Ergebnis angestrebt worden ist.

Nach Kenntnismahme der Wirkung dieser Bänder steht man der Erscheinung des lebenden Tieres ganz anders gegenüber wie vorher, und zwar in doppelter Hinsicht: die dorsalwärts gerichteten Biegungen des mittleren und unteren Halsabschnittes erscheinen nicht mehr als Erzeugnisse der Muskeltätigkeit, sondern als Folgen des elastischen Zuges, und man kann sich nur darüber wundern, daß sie nicht noch ausgiebiger, nicht noch häufiger zur Beobachtung gelangen. Die oben erwähnte für den Kranich so charakteristische Aufrichtung des Halses setzt also eine beständige auf die Bekämpfung der elastischen Bänder gewendete Muskeltätigkeit voraus.

Gehen wir auf die feineren Einzelheiten ein, so ist zunächst zu bemerken, daß ein gemeinsames elastisches Band, welches hinter einer Anzahl von Wirbeln



Fig. 5. Eigenform der Wirbelsäule.

vorbeizöge, wie, z. B. bei *Rhea*, nicht vorhanden ist. Dies ist von großer Bedeutung; denn ein gemeinsames Band muß die Haltungen und Bewegungen in ganz anderer Weise beeinflussen wie Einzelbänder, welche eine mehr isolierte Beherrschung der einzelnen Wirbel durch die Muskeln gestatten. Allerdings kann man bei ungenauer Untersuchung an ein gemeinsames Band glauben. Es sieht nämlich im ersten Augenblick so aus, als seien die Dornfortsätze durchbohrt und das elastische Band liefe durch diese Löcher hindurch. Das ist jedoch eine Täuschung, welche darauf beruht, daß die dorsalen Ecken der Dornfortsätze an den unteren zervikalen und an den oberen thorakalen Wirbeln die Ansätze der Bänder überdecken. Nur am 11. bis 14. Wirbel gehen wegen Niedrigkeit der Knochenleisten, welche die Dornfortsätze vertreten, unbedeutende Partien der Bänder hinter diesen Leisten vorbei und in die folgenden Bänder über. Umgekehrt werden an den unteren Halswirbeln und noch mehr an den Brustwirbeln die Dornfortsätze höher, und die elastischen Bänder reichen dann nicht mehr bis an die dorsalen Ecken der letzteren. Dieser Zustand tritt zuerst auf an der kranialen Seite von c. 16; das zwischen t. 1 und t. 2 befindliche Band ist dann, obwohl es 4,5 mm hoch ist, von den hinteren Kanten der Dornfortsätze um ebenso viel entfernt. Sicher ist bei diesen so scharf begrenzten Bändern jede Einzelheit von Bedeutung. Es sei daher bemerkt, daß an den genannten wie auch an den folgenden Wirbeln die dorsalen Ecken gegen einander vorspringen, so daß ein Band viel kürzer sein würde, wenn es zwischen den Ecken ausgespannt wäre, als es tatsächlich ist, indem es, weiter ventral gelegen, von der kaudalen Kante des einen Dornfortsatzes zur kranialen Kante des nächsten ausgespannt ist.

Die Bänder werden, je mehr man sich dem oberen Ende des Halses nähert, um so schwächer, und zwar nicht nur an Dicke, sondern auch an Länge. Die Ansatzstellen der beiden Bänder, welche sich an einen Wirbel befestigen, sind daher durch Abstände getrennt, welche an den oberen Wirbeln immer größer werden. Bei c. 12 hängen noch beide Ansatzstellen zusammen; bei c. 11 ist der Zwischenraum 3 mm und bei c. 10 5,5 mm groß. So wie bei c. 12 ist es auch bei c. 13 und c. 14. Bei c. 15 sind dann wieder beide Stellen von einander getrennt, aber nicht durch Schwächerwerden der Bänder, sondern durch Höherwerden der Dornfortsätze.

Nach der Mazeration stellt sich heraus, daß die Ansatzstellen der elastischen Bänder sich an den Knochen vollkommen klar abzeichnen, und es wird dadurch die Schärfe und Genauigkeit der

Auffassung bedeutend gesteigert. Darauf wird bei den rippentragenden Wirbeln zurückzukommen sein.

Gelenkfortsatzwinkel. — Ein zweites Merkmal, dessen mechanische Bedeutung ebenso klar ist wie die der elastischen Bänder besteht darin, daß alle Gelenkfortsätze, bzw. deren Gelenkflächen, nach dem Radiustypus gestellt sind (mit Ausnahme der Gelenkfortsätze, durch welche Atlas und Epistropheus verbunden sind). Dabei sind jedoch die Winkel, welche die einzelnen Gelenkfortsatzpaare (je ein rechter und linker Fortsatz) mit einander bilden, nicht gleich, sondern es ergeben sich innerhalb der Reihe der Winkel eigentümliche Schwankungen, wechselnde Abnahmen und Zunahmen, wofür eine Erklärung noch nicht zu geben ist. Hierüber gibt die folgende Tabelle Auskunft.

Winkel der kranialen Gelenkfortsätze.

c. 3	161° Max.	c. 11	107° Max.	t. 2	71° Min.
" 4	161° Max.	" 12	103°	" 3	80°
" 5	157°	" 13	90°	" 4	90° Max
" 6	112°	" 14	85° Min.	" 5	verwachsen
" 7	84°	" 15	90°	" 6	66° Min.
" 8	74° Min.	" 16	93° Max.	" 7	75°
" 9	84°	" 17	93° Max.	" 8	89°
" 10	102°	t. 1	72°	s. 1	95°

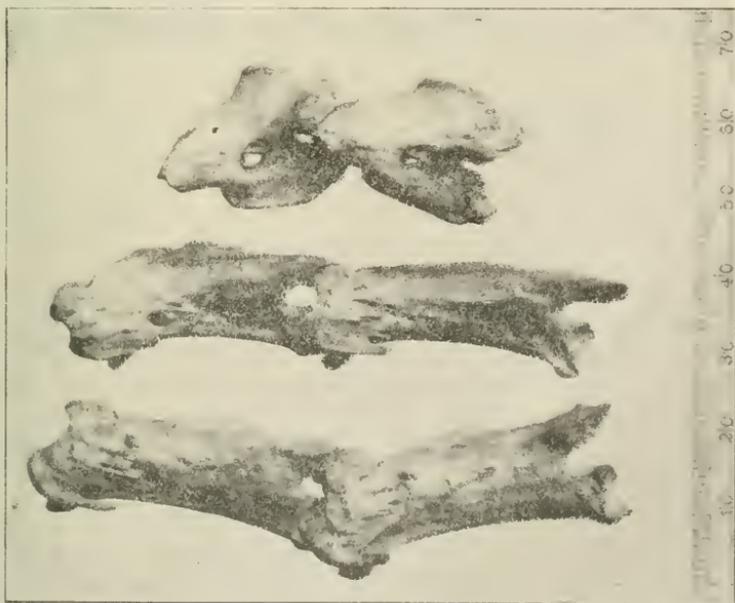


Fig. 6. Drei Wirbelpaare, c. 3 und c. 4, c. 6 und c. 7, c. 9 und c. 10, nach dem Ausmazerieren aneinander gehalten, so wie es die Gelenkfortsätze weisen.

Neigung der kranialen Gelenkflächen gegen die Längsachsen der Wirbelkörper, Stellung dieser Gelenkflächen gegenüber den Endflächen der Wirbelkörper, Gestalt der Endflächen der Wirbelkörper. — Die drei in diesem Titel genannten Gegenstände gehören untrennbar zusammen, sind s. z. s. nur Teile derselben Sache. Hält man von den ausmazerierten Wirbeln je zwei und zwei so an einander, daß die Gelenkflächen weder an der kranialen noch an der kaudalen Seite überstehen oder, falls eine dieser Gelenkflächen länger ist, dieselbe an beiden Seiten gleich weit übersteht, so findet sich nur in einer geringen Zahl von Fällen der eine Wirbel in der geraden Verlängerung des anderen, meist stehen die beiden Wirbel entweder in ventraler oder in dorsaler Abknickung, wie durch Figur 6 erläutert wird. Hier sind drei Wirbelpaare in der genannten Stellung zur Anschauung gebracht: c. 3 und c. 4, c. 6 und c. 7, c. 9 und c. 10. Bei c. 6 und c. 7, welche die Mitte einnehmen, befindet sich der eine Wirbel in der geraden Verlängerung des anderen, bei c. 3 und c. 4 stehen sie in ventraler, bei c. 9 und c. 10 in dorsaler Abknickung.

Die Verteilung dieser drei Typen in der Reihe der Wirbelverbindungen wird durch die folgende Tabelle gezeigt.

E / c. 3 in ventraler Flexion		c. 15	c. 16 in ventraler Flexion
c. 3 / ..	4 —	16	17 —
„ 4 / ..	5 —	17	t. 1 —
„ 5 / ..	6 —	t. 1	„ 2 —
„ 6 / ..	7 in gerader Streckung	„ 2	„ 3 in gerader Streckung
„ 7 / ..	8 in dorsaler Flexion	„ 3 /	„ 4 —
„ 8 / ..	9 —	„ 4	„ 5 in gerader Streckung;
„ 10 / ..	11 —		verwachsen
„ 11 / ..	12 —	„ 5	„ 6 in gerader Streckung
„ 12 / ..	13 —	„ 6	„ 7 —
„ 13 / ..	14 —	„ 7 / ..	8 —
„ 14 / ..	15 in gerader Streckung	„ 8 / s	in dorsaler Flexion

Man sieht aus dieser Tabelle, daß sich von den Halsverbindungen nur zwei in gerader Streckung befinden: c. 6 / c. 7 und c. 14 / c. 15, und daß durch diese beiden Stellen drei Abschnitte der Wirbelsäule von einander getrennt werden, von welchen der erste und dritte die Wirbelpaare in ventraler Flexion, der zweite dieselben in dorsaler Flexion zeigt. Dieser Befund stimmt überein mit dem, was über die Bewegungsmöglichkeiten festgestellt wurde.

Diese Stellung der Wirbel zueinander findet ihre Erklärung durch die verschiedene Neigung der kranialen Gelenkflächen gegen die Längsachsen der Wirbel; bei dem ersten Typus ist die Gelenkfläche nicht rein dorsalwärts, sondern zugleich kranialwärts (bei c. 4

sogar mehr kranialwärts wie dorsalwärts); bei dem dritten Typus ist sie zugleich kaudalwärts und nur bei dem mittleren rein dorsalwärts gewendet.

Figur 7 zeigt an den Beispielen von c. 3 und c. 9 die Ergänzung zu dem eben Gesagten. Die kranialen Gelenkflächen sind nämlich an den Wirbeln des ersten Typus gegenüber den kranialen Endflächen der Körper vorwärts (kranialwärts), bei denen des dritten Typus rückwärts (kaudalwärts) verschoben.

Auf die Bedeutung dieses Umstandes für ventrale und für dorsale Biegsamkeit habe ich schon bei früherer Gelegenheit hingewiesen²⁾ und in einer späteren Arbeit durch eine schematische Figur die Beziehung klar zu machen versucht³⁾.

Die Gestalt der kranialen Endflächen der Wirbelkörper steht insofern zu den besprochenen Verhältnissen in enger Beziehung,



Fig. 7. Die kranialen Abschnitte von c. 4 und c. 9 von der dorsalen Seite, um die Verschiedenheit in der Stellung der Gelenkfortsätze zu zeigen.

als an denjenigen Wirbeln, wo nur ventrale Biegung möglich ist, die Endflächen mehr nach der ventralen Seite herumgeführt und nach der dorsalen Seite beschränkt sind, an denjenigen Wirbeln dagegen, an welchen nur dorsale Flexion möglich ist, die Endflächen mehr nach der dorsalen Seite herumgeführt sind. In dieser Hinsicht besteht sogar eine sehr feine Abstufung, eine sehr feine Anpassung der Form an die Funktion.

Maße der Gelenkflächen. — Bei Untersuchungen von Wirbelsäulen suche ich immer darauf zu achten, ob sich nicht Beziehungen zwischen den Maßen (Längen und Breiten) der Flächen der Gelenkfortsätze und den Bewegungsmöglichkeiten feststellen

²⁾ „Die Wirbelsäule des Löwen nach Form zusammengesetzt“. Diese Sitzungsberichte Jahrg. 1907 S. 43—69. S. dort S. 56.

³⁾ „Über die Halswirbelsäule von *Plotus ankinga*“. Diese Sitzungsberichte Jahrg. 1917 S. 454—468. S. dort S. 466.

lassen. Allerdings ist dieses Unternehmen sehr erschwert dadurch, daß gerade an diesen Teilen der Wirbel „Fehler der Ausführung“ sehr gewöhnlich sind, wie sich dadurch deutlich zeigt, daß oft die Länge der Gelenkfläche eines rechten und eines linken Gelenkfortsatzes nicht unerheblich verschieden ist. Trotz dieser Ungunst und der dadurch hervorgerufenen Fälschung der „eigentlichen“ Maße darf man aber doch auf das Streben nach Einsicht nicht verzichten. Ich gebe daher die in Betracht kommenden Zahlen in der folgenden Tabelle. Von den vier Kolonnen derselben enthält die erste die Längen und die zweite die Breiten der kranialen Gelenkflächen, die dritte die Längen der kaudalen Gelenkflächen, die vierte die Differenzen der Längen der kranialen und der mit ihnen zusammenstoßenden kaudalen Gelenkflächen. Es bedeutet also in der letzten Kolonne die erste Zahl die Differenz zwischen der kaudalen Gelenkfläche von c. 3 und der kranialen von c. 4 u. s. f.

	1.	2.	3.	4.
c. 3	6,5 mm	3,5 mm	6 mm	0 mm
„ 4	6 „	4,3 „	5,5 „	0,3 „
„ 5	5,8 „	4,4 „	5,5 „	0 „
„ 6	5,5 „	4,1 „	5,7 „	0,3 „
„ 7	6 „	3 „	5,3 „	0,9 „
„ 8	6,2 „	3,8 „	6 „	0,7 „
„ 9	6,7 „	3,3 „	7 „	0,2 „
„ 10	7,2 „	4 „	7,8 „	0,2 „
„ 11	8 „	5 „	8 „	0,4 „
„ 12	8,4 „	5 „	7,5 „	1,5 „
„ 13	9 „	4,4 „	7,5 „	0,8 „
„ 14	8,3 „	4,8 „	7,8 „	1,7 „
„ 15	9,5 „	4,5 „	7,3 „	1,7 „
„ 16	10 „	5 „	6,7 „	2,1 „
„ 17	8,8 „	4,9 „	7,5 „	3,7 „
t. 1	11,2 „	5,5 „	8,5 „	2,5 „
„ 2	11 „	7,2 „	7,2 „	2 „
„ 3	9,2 „	8,4 „	4,7 „	1,2 „
„ 4	4,7 „	6 „	verwachsen	
„ 5	verwachsen	verwachsen	3,5 mm	0 mm
„ 6	3,5 mm	14 mm	2,5 „	0 „
„ 7	2,5 „	13 „	3 „	0 „
„ 8	3 „	12,5 „	3 „	

Aus der vierten Kolonne dieser Tabelle ergibt sich, daß die Länge einer kaudalen Gelenkfläche niemals die der mit ihr zusammenstoßenden kranialen übertrifft; zuweilen sind beide gleich; fast immer aber ist die kraniale Fläche länger. Am größten (3,7 mm) ist die Differenz bei c. 17 / t. 1.

Inkongruenz der Gelenkflächen. — Es ist eine sehr weit verbreitete Einrichtung bei Wirbeltieren, z. B. bei Raubtieren und

noch mehr bei den langhalsigen Wiederkäuern, daß die zusammenstoßenden Gelenkflächen, also die kaudalen des einen Wirbels und die kranialen des folgenden, nicht kongruent sind, sondern vorn und hinten (an der kranialen und an der kaudalen Seite) klaffen. Dies ist auch bei den Vögeln der Fall. Am stärksten ist die Inkongruenz in unserem Falle bei c. 12 / c. 13 und c. 13 / c. 14.

Die kaudale Gelenkfläche des Epistropheus ist in querer Richtung konkav, in kranio-kaudaler Richtung plan; die kranialen Flächen von c. 6 und t. 1 sind ebenfalls quer konkav. Diese Konkavitäten kommen der sicheren Führung in sagittaler Richtung zu Gute.

Maße der kranialen Endflächen der Wirbelkörper. — Bekanntlich haben die kranialen Endflächen der Wirbelkörper bei den Vögeln die Gestalt gekehlter Rollen, vergleichbar der Trochlea am Humerus des Menschen; sie werden auch als sattelförmig bezeichnet. Mit letzterem Vergleich soll ausgedrückt werden, daß sie sowohl sagittale wie seitliche Flexion gestatten. Das ist auch tatsächlich der Fall; indem aber die dorso-ventralen Durchmesser klein und die Quermaße groß sind, ist die sagittale Flexion begünstigt und die seitliche Flexion erschwert, wie sich an den Bewegungen des lebenden Tieres deutlich zeigt. Es hat daher Interesse, beide Maße zu vergleichen.

	sagitt. D.	Quer D.		sagitt. D.	Quer D.
c. 3	1,8 mm	7 mm	c. 15	3,5 mm	13,8 mm
" 4	1,3 "	7,3 "	" 16	3,5 "	17 "
" 5	1,5 "	7 "	" 17	4,1 "	18,5 "
" 6	2,1 "	8,5 "	t. 1	6,5 "	18,5 "
" 7	3 "	9,5 "	" 2	6,5 "	18,5 "
" 8	3,3 "	11 "	" 3	7,5 "	18,5 "
" 9	3,5 "	10,5 "	" 4	7,5 "	15,4 "
" 10	3,5 "	10,3 "	" 5	verwachsen	
" 11	3,5 "	10,7 "	" 6	8 mm	13 mm
" 12	3,5 "	11,5 "	" 7	9 "	12,7 "
" 13	3,5 "	12,5 "	" 8	10 "	14,5 "
" 14	3,5 "	13 "	s. 1	10,2 "	14,5 "

Läßt man den Blick an diesen beiden Kolumnen heruntergleiten, so findet man darin manches Bemerkenswerte, besonders wenn man die Zahlen für die rippentragenden Wirbel mit in Betracht zieht. Zunächst nehmen die Maße vom oberen bis zum unteren Ende der Reihe nicht stetig zu, weder die Dicken (sagittale Durchmesser) noch die Breiten (quere Durchmesser), sondern es gibt Stellen, an welchen das Maß konstant bleibt, wie z. B. die Dicke von c. 9 bis c. 16 und die Breite von c. 17 bis c. 3, andere, wo der Anstieg schnell vor sich geht, wie z. B. der quere Durch-

messer von c. 15 bis zu c. 17, und andere endlich, wo sogar ein Abfall stattfindet. Ferner ist die Bewegung innerhalb der beiden Reihen nicht gleich, so daß das Verhältnis der Dicke zur Breite wechselt, woraus folgt, daß jede von ihnen anderen Bedingungen unterworfen ist. Als Grund für die starke Zunahme des queren Durchmessers von c. 16 stellt sich bei der Besichtigung des Wirbels selbst heraus, daß der Endfläche auf der rechten und linken Seite noch je eine abgeknickte Fazette angesetzt ist, welche für die Artikulation nicht mit verwendet wird. Auch an der kaudalen Fläche von c. 15 gibt es solche Nebenfazetten. Diese können nur zum Schleifen der Gelenkkapsel dienen, also für eine ausgiebigere Bewegung von Nutzen sein, wobei nur unentschieden bleibt, ob es sich dabei um eine Steigerung der sagittalen oder der seitlichen Flexion handelt.

So sieht man auch hier, daß bei einer sorgfältigen Betrachtung der Knochen an dieser ebenso wie an anderen Wirbelsäulen Stellen gefunden werden, durch welche für die funktionelle Betrachtung neue Fragen entstehen.

Längen der Wirbelkörper. — Mit Rücksicht auf die Bewegungsmöglichkeiten kommt endlich noch die Länge der Wirbelkörper in Betracht, denn es liegt auf der Hand, daß ein Abschnitt, der aus vielen kurzen Wirbeln besteht, eine ausgiebigere Biegsamkeit haben wird wie ein solcher, welcher aus wenigen langen Wirbeln besteht, vorausgesetzt daß die Beweglichkeit in jeder Verbindung gleich ist. Ich gebe daher die Zahlen für die Längen der Wirbelkörper in einer Tabelle.

c.	3	21	mm	c.	11	37,8	mm	t.	2	18	mm
"	4	22,8	"	"	12	37,2	"	"	3	20,5	"
"	5	25,8	"	"	13	36	"	"	4	21,5	"
"	6	32	"	"	11	34	"	"	5	21,5	"
"	7	36	"	"	15	34,3	"	"	6	21,5	"
"	8	37,5	"	"	16	23	"	"	7	21,5	"
"	9	38	" Max.	"	17	18,5	"	"	8	20,5	"
"	10	38	" "	t.	1	17,8	" Min.				

Auch diese Reihe zeigt mancherlei Bemerkenswertes, vor allem, daß die Länge nicht in Proportion steht zur Kräftigkeit der Wirbel, wie man sie etwa aus den Maßen für die kranialen Endflächen der Körper ablesen kann. Vielmehr ist das Maximum der Länge bereits bei c. 9 und c. 10 erreicht, und es tritt dann eine Abnahme ein, welche zu einem Minimum bei t. 1 führt. Dann folgt wieder eine leichte Steigerung, und bei denjenigen Wirbeln, deren Rippen das Brustbein erreichen, herrscht fast absolute Konstanz.

Schlußbemerkung über den Halsabschnitt. — Überblickt man alles, was über den Halsabschnitt gesagt wurde, so findet man, daß die Unterschiede gegenüber anderen Vogelhälsen nicht so bedeutend sind, wie man vielleicht hätte erwarten können, und daß insbesondere die Unterschiede gegenüber der Reiherwirbelsäule nicht so auffallend sind, wie die so verschiedene Haltung der lebenden Tiere glauben ließ. Wir haben bei beiden Tieren einen Wechsel von Abschnitten, welche nur ventrale Flexion gestatten mit solchen, welche nur dorsale Flexion ermöglichen, und wir haben auch die Grenze beider Abschnitte an derselben Stelle des Halses. Nur ist beim Kranich der Wechsel beider Typen nicht so jäh wie beim Reiher und insbesondere beim Plotus⁴⁾, sondern sanfter, mehr vermittelt.

IV. Rippentragender Abschnitt.

Die Maße über die rippentragenden Wirbel sind in den vorausgehenden Tabellen schon mitgehalten. Sie machen sich dort wirkungsvoller im Zusammenhange mit denen der Halswirbel. Durch die Verschiedenheiten beider Abschnitte wird jeder von ihnen in helleres Licht gesetzt. Dies kommt nur deshalb nicht voll zur Geltung, weil der Übergang ein vermittelnder ist. Die erste „Rippe“ ist ja, wie weiter oben schon bemerkt wurde, nicht länger und nicht anders gestaltet wie der Querfortsatz eines der unteren Halswirbel und daher der erste rippentragende Wirbel funktionell als ein Halswirbel anzusehen. Auch die zweite Rippe ist noch kurz und nicht mit dem Sternum verbunden, und so kann erst der dritte rippentragende Wirbel als ein voller thorakaler angesehen werden, bei dem dann in der Tat auch die Merkmale zur vollen Ausbildung gelangen, welche für die thorakalen Wirbel bezeichnend sind.

A. Bewegungsmöglichkeiten und Verwachsung des 4. und 5. Wirbels.

1. Sagittale Flexion. — In dorsaler Richtung ist schon von der Verbindung von c. 17 mit t. 1 an keine Biegung möglich. Auch in ventraler Richtung ist von der Verbindung von t. 1 mit t. 2 an nur noch gerade Streckung möglich. Es besteht also so gut wie gar keine Beweglichkeit, sondern nur bei stärkerem Druck eine gewisse Durchbiegung.

2. Seitliche Flexion. — Die gleiche Beschränkung der Bewegung.

3. Drehung. — Fehlt.

B. Anatomische Einrichtungen.

Die fast vollkommene Aufhebung der Bewegungsmöglichkeit äußert sich noch besonders darin, daß t. 4 und t. 5 miteinander

⁴⁾ Diese Sitzungsberichte Jahrg. 1917 S. 454—468.

verwachsen sind; die beiden Dornfortsätze sind durch eine Knochenbrücke, welche die Höhe der Dornfortsätze selbst hat, miteinander vereinigt. Hier spielt vielleicht das Alter des Tieres eine Rolle.

Bei der Untersuchung des frischen Präparates glaubte ich, daß auch t. 3 mit t. 4 verwachsen sei, da sich zwischen ihnen keine Spur von Bewegungsmöglichkeit feststellen ließ. Doch haben sich beide Wirbel bei der Mazeration voneinander getrennt. Es läßt sich aber doch an dem Verhalten des elastischen Bandes erkennen, daß die Neigung zur knöchernen Vereinigung auch hier vorhanden war. Die Bandansatzstellen an den beiden Dornfortsätzen sind nämlich nicht nur wie bei den übrigen Wirbeln rauh sondern zackig, d. h. mit längeren Knochenvorsprüngen versehen, und zugleich ist das

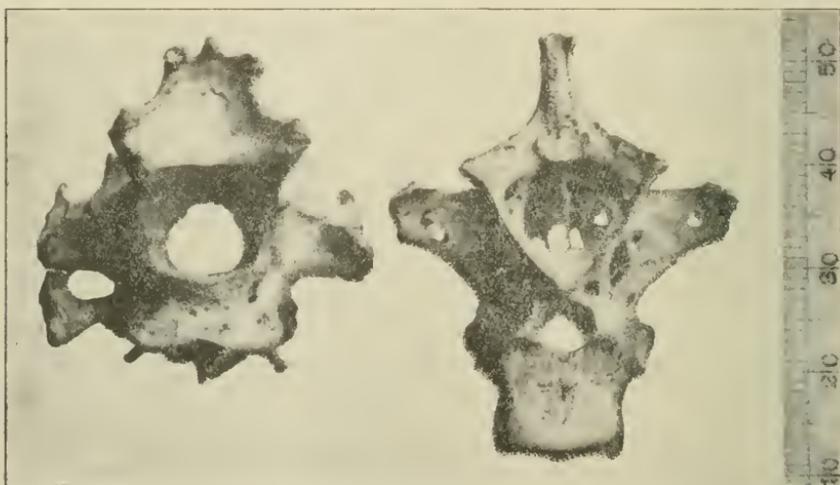


Fig. 8. t. 1 und t. 6 von der kaudalen Seite, um die Bandansatzstellen zu zeigen.

elastische Band dünner (in der Richtung von rechts nach links) wie die übrigen Bänder.

Die Steifigkeit der thorakalen Wirbelsäule ist also nahezu, aber doch nicht völlig Starrheit, und wenn wir zur Ergänzung unserer Vorstellung das Tastgefühl zu Hilfe nehmen, so spüren wir bei Biegungsversuchen einen starken federnden Widerstand. Dies führt uns auf die Betrachtung der elastischen Bänder zurück, denen ja diese Federung zuzuschreiben ist.

Elastische Bänder. — Wie schon oben gesagt wurde (S. 118), prägen sich die Ansatzstellen der Bänder an den Knochen mit solcher Schärfe aus, daß man dadurch aufs Genaueste Lage und Stärke der Bänder bestimmen kann. Ich verweise in dieser Beziehung auf die

Figuren 8, 9, 11 dieser Arbeit, wobei ich allerdings fürchten muß, daß bei dem schlechten Druck der Figuren die reizvollen Einzelheiten der Photos verschwimmen werden.

An der kaudalen Seite von t. 1 (Fig. 8) ist die Ansatzstelle des Bandes 3,8 mm hoch und 3 mm breit und bleibt 5 mm unterhalb der dorsalen Kante des Dornfortsatzes. An der kaudalen Seite von t. 2 ist die Ansatzstelle schon 5 mm hoch und bleibt nur noch 3,5 mm unterhalb der dorsalen Kante. Von dem Bande zwischen t. 3 und t. 4 wurde schon gesprochen, ebenso von der knöchernen Brücke zwischen t. 4 und t. 5. An den Rückseiten von t. 5 bis t. 8 reichen die Bandansatzstellen bis an die dorsalen Kanten empor und haben eine Höhe

·	bei t. 5	von	11	mm
	„ t. 6	„	11	„
	„ t. 7	„	13	„
	„ t. 8	„	14,5	„

Die zunehmende Stärke prägt sich aber nicht nur in der Höhe, sondern auch in der Dicke der Bänder, welche sich aus der Breite der Ansatzfelder ablesen läßt, aus. Die Breite ist nicht in ganzer Höhe gleich, sondern am ventralen Ende erheblicher, was aber nicht so zu verstehen ist, daß sie nach diesem Ende hin allmählich zunimmt, sondern es ist dem im übrigen gleich dicken Bande ein ventrales dickeres Stück angesetzt. Es liegt hier offenbar eine überaus fein abgewogene Mechanik vor.

An den Stellen der ventralen Verbreiterung sind die Maße

	für t. 5	in	Querrichtung	4,3	mm
	„ t. 6	„	„	5	„
	„ t. 7	„	„	5,4	„
	„ t. 8	„	„	5,5	„

Bemerkenswert ist auch die eigentümliche Oberflächenbeschaffenheit an den Ansatzfeldern. Diese Stellen sind nämlich nicht etwa glatt oder unbestimmt rauh, sondern von queren (horizontalen) Leisten eingenommen, die aber in den dorsalen und ventralen Endabschnitten fehlen. Daraus ist zu schließen, daß das Band aus Lamellen aufgebaut ist, welche in dorso-ventraler Richtung übereinander liegen, daß jedoch am dorsalen und ventralen Rande ein anderes Gefüge besteht.

Die elastischen Bänder der thorakalen ebenso wie die der zervikalen Gegend setzen sich an der ventralen Seite nicht in Zwischenbogenbänder fort, sondern sie sind hier von scharfen Rändern begrenzt. Dies trägt wesentlich zu dem Eindruck bei, daß es sich

nicht um verschwommene, sondern um völlig scharfe mechanische Verhältnisse handelt.

Wir haben in dem Brustteil die elastische Substanz in einer Anwendung kennen gelernt, welche wesentlich verschieden aussieht von der im Halsteil. Während in letzterem die elastischen Bänder, wie die Eigenform gezeigt hat, in sehr energischer Weise Bewegung hervorrufen und zu ihrer Bekämpfung Muskelkraft fordern, so dienen sie im Brustteil dazu, in die Steifigkeit die Eigenschaft der elastischen Federung hineinzubringen, und gerade für diese zweite Art der Verwendung sind die Bänder so besonders stark, zwar nicht lang aber breit.

Ich werde nun die weiteren Merkmale in derselben Reihenfolge bringen, wie sie beim Halsabschnitt besprochen sind.

Gelenkfortsatzwinkel (s. Tabelle auf S. 119). — Sämtliche Winkel sind vom Radiustypus; es findet sich ein mehrfaches Schwanken in der Größe der Winkel.

Der Umstand, daß die Winkel nach hinten und nicht wie bei den Säugetieren (im Brustteil) nach vorn offen sind, ist nach dem, was ich in verschiedenen Arbeiten mitgeteilt habe, schon nichts Neues mehr; ich will es aber doch noch einmal unterstreichen, da es vermutlich doch noch viele Anatomen und Zoologen gibt, denen die Bedeutung dieser Tatsache nicht zum Bewußtsein gekommen ist.

Stellung der kranialen Gelenkflächen zu den Längsachsen der Wirbelkörper. — In der Tabelle auf Seite 120 ist angegeben, daß, wenn man zwei der thorakalen Wirbel aneinander fügt, sie in gerader Streckung zueinander stehen. Dem entspricht es, daß die Gelenkflächen den Längsachsen der Wirbelkörper parallel gestellt und nicht wie die der meisten Halswirbel geneigt sind.

Gestalt der Endflächen der Wirbelkörper. — Wie die Tabelle auf Seite 123 zeigt, wächst die Dicke (der dorso-ventrale Durchmesser) der kranialen Endfläche beim Fortschreiten vom oberen zum unteren Ende der Reihe durchaus nicht in der gleichen Weise an wie die Breite (der quere Durchmesser). Wir haben z. B. für c. 4 und s. 1 die Dicken von 1,3 mm und 10,2 mm, also bei s. 1 das 8fache, dagegen die Breiten von 7,3 mm und 14 mm, also nur das Doppelte. Es ist sogar das Maximum der Breite (18,5 mm) schon bei c. 17 erreicht, und bei den unteren Brustwirbeln findet eine Abnahme statt. Die Dicke dagegen wächst beständig. Durch die Figur 9, welche die kranialen Seiten von c. 8 und t. 7 zur Anschauung bringt, werden diese Verhältnisse in eindrucksvoller Weise vorgeführt, zugleich aber auch der Unterschied in dem ganzen übrigen Aufbau eines zervikalen und eines

thorakalen Wirbels. Und da wird man sagen müssen, es ist noch nicht einmal so sehr der Wirbelkörper, in welchem die Verschiedenheit, die verschiedene Wucht und mechanische Leistungsfähigkeit hervortritt, als vielmehr das, was sich dorsal von dem Körper aufbaut, der Bogen nebst Dornfortsatz und Gelenkfortsätzen und am Dornfortsatz das mächtige Ansatzfeld für das elastische Band. Es dürfte darin auch ein Wink zur Vorsicht für diejenigen enthalten sein, welche, wenn es sich um die Frage der Versteifung einer Wirbelsäule handelt, immer nur an die Wirbelkörper und die sie verbindenden Zwischenwirbelscheiben denken. Jedenfalls sind es in unserem Falle nicht nur die Körper und die Zwischen-

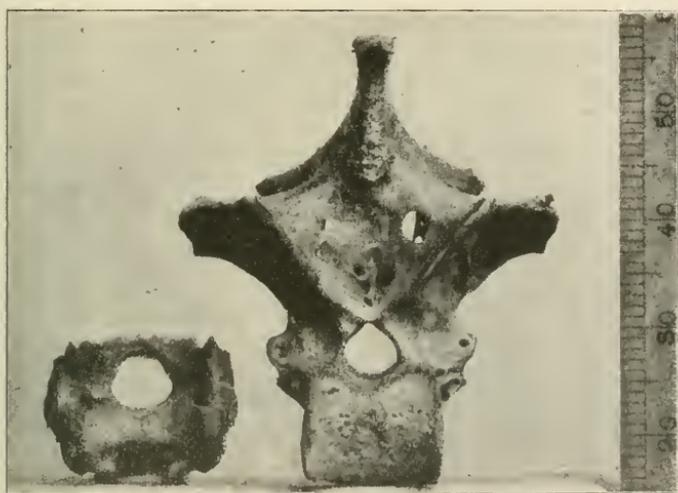


Fig. 9. c. 8 und t. 7 von der kranialen Seite, um die Verschiedenheit in der Gestalt der Endflächen zu zeigen.

wirbelscheiben, von welchen die Versteifung abhängt. Aber freilich sind sie es auch. Warum nun aber an ihnen nur die Dicke und nicht auch die Breite bis zum Kreuzbein hin zunimmt, sondern die Breite sogar zuletzt abnimmt, ist nicht völlig klar; immerhin leuchtet es ein, daß gegenüber der Belastung von oben bei dem schiefstehenden Rumpf des Tieres die Verstärkung in der Dicke wichtiger ist.

Durch die erwähnten Veränderungen der Form nähern sich die Endflächen der Gestalt von Quadraten mit abgerundeten Ecken und eingebogenem dorsalen Rande (Figur 8, 9, 11); doch bleibt bis ans Kreuzbein die Sattelform erhalten, wenn sie sich auch verflacht.

Maße der kranialen Gelenkflächen. — Über dieselben gibt die Tabelle auf Seite 122 Auskunft. Das Ergebnis ist ein überraschendes, wenn man die Längen und Breiten untereinander und die Brustwirbel mit den Halswirbeln vergleicht. Während bei t. 1, der ja, wie oben gesagt, funktionell als Halswirbel anzusehen ist, die Länge noch doppelt so groß ist wie die Breite, so ist bei t. 2 die Breite der Länge schon näher gekommen, bei t. 3 hat sie sie fast erreicht, so daß diese Gelenkfläche fast kreisförmig begrenzt ist. An den letzten Brustwirbeln ist das Verhältnis von Länge und Breite umgeschlagen, indem die Breite gewachsen, die Länge zurückgegangen ist. Dies ist ein so eigenartiges und von Säugetieren abweichendes Verhältnis, welches zugleich einen so unerwarteten Blick in die Mechanik der Wirbelsäule tun läßt, daß ich wohl wünschen möchte, es in die Vorstellung derjenigen einzuführen, welche sich für Skelettmechanik interessieren. Ich gebe

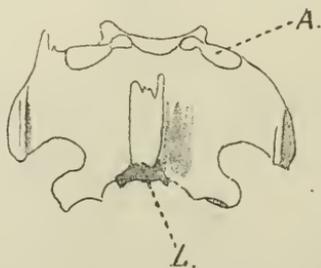


Fig. 10. t. 8 von der dorsalen Seite.

A. Kraniale (dorsalwärts gewendete) Gelenkflächen. L. Verbreitertes ventrales Ende des Ansatzfeldes für das elastische Band.

deswegen zwei Figuren, in Figur 10 t. 8 von der dorsalen Seite und in Figur 11 die einander zugewendeten Seiten von t. 7 (links) und t. 8 (rechts), also die kaudale Seite von t. 7 und die kraniale Seite von t. 8. Beide Figuren sind vielleicht, weil der Gegenstand dem Leser nicht geläufig ist, nicht unmittelbar verständlich. Ich bemerke daher zur Erklärung folgendes: Bei Figur 10 erscheinen die beiden dorsalwärts gewendeten kranialen Gelenkflächen zu wenig ausgedehnt in Querrichtung, weil sie wegen ihrer Schiefstellung perspektivisch verkürzt sind, aber man sieht ihre Ausdehnung in Längsrichtung (kranio-kaudaler Richtung), und das ist es, worauf es in dieser Figur ankommt. Außerdem sieht man, daß jede der beiden Flächen eingeschnürt, sogar in zwei Stücke zerfallen ist. Auf der Figur 11 kommt dagegen die Ausdehnung in der Breite voll zur Geltung, auch die geneigte Stellung der Flächen, dagegen sieht man von der Ausdehnung in Längsrichtung sehr

wenig, da diese bei dieser Ansicht perspektivisch verkürzt ist. Es sei daher bemerkt, daß auf der kaudalen Seite (links) die Gelenkflächen ab- und lateralwärts, auf der kranialen Seite dagegen (rechts) auf- und medianwärts gewendet sind. Die beiden Gelenkflächen eines Wirbels zusammen bilden in dieser Ansicht die Figur eines lateinischen V, dessen Spitze abgebrochen ist, und dessen Schenkel mit den oberen Enden lateralwärts abgelenkt sind.

Wir finden also — und darin liegt das Bedeutungsvolle dieses ungewohnten Verhaltens —, daß an diesem Abschnitt der Wirbelsäule, der so gut wie gar keine Verschiebungen der Wirbel gegen einander aufweist, die Länge der Gelenkflächen außerordentlich vermindert und ihre Breite außerordentlich gesteigert ist.

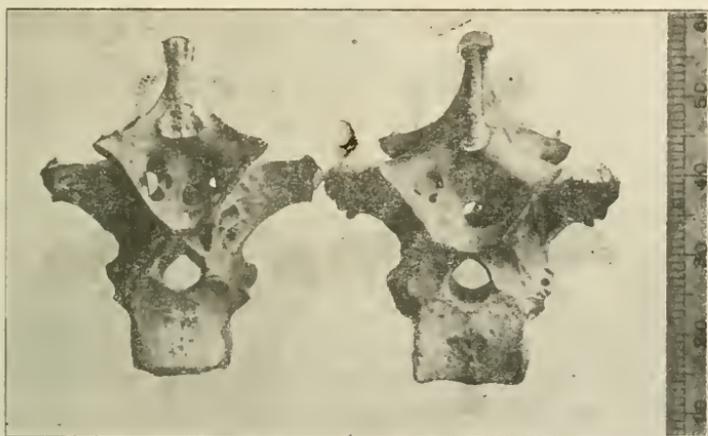


Fig. 11. Kaudale Seite von t. 7 (links) und kraniale Seite von t. 8 (rechts), um die Stellung und Gestalt der Gelenkflächen zu zeigen.

Kongruenz der Gelenkflächen. — Von der Verbindung von t. 3 mit t. 4 an sind die zusammenstoßenden Gelenkflächen kongruent, was angesichts der bei den Halswirbeln bemerkten Inkongruenz besonders hervorgehoben werden muß. Diese Kongruenz setzt angesichts des eben erwähnten Umstandes, daß bei der V-förmigen Figur die Schenkel oben abgelenkt sind, eine sorgfältige Ausführung voraus. Es tritt uns also beim Vergleich der Halswirbel und Brustwirbel die Tatsache entgegen, daß dort, wo freiere Beweglichkeit vorhanden ist, Inkongruenz, und dort, wo Versteifung vorhanden ist, Kongruenz der Flächen besteht.

Längen der Wirbelkörper. — Die Zahlen wurden bereits in der Tabelle auf S. 124 gegeben. Das Bemerkenswerteste ist

dabei, daß innerhalb des eigentlichen thorakalen Abschnittes der Wirbelsäule, in welchem wegen der gleichmäßigen Versteifung auch die mechanischen Bedingungen gleich sind, die Längen der Wirbelkörper übereinstimmen. Nur an der Grenze gegen die Nachbarabschnitte, bei t. 3 und t. 8, findet eine Verminderung um 1 mm statt. Diese Gleichheit kommt wegen der Verbindung mit den Rippen auch dem harmonischen Aufbau des Thorax zu Gute. Das zweite Bemerkenswerte ist, daß diese thorakalen Wirbel, obwohl sie in allen anderen Beziehungen mächtiger sind wie die Halswirbel, ihnen doch in bezug auf Länge der Körper nachstehen. Die kürzesten von allen Körpern finden sich an den drei Wirbeln, welche an der Grenze von Hals- und Brustteil stehen, bei c. 17, t. 1 und t. 2.

V. Schwanz.

Der Schwanz enthält 8 Wirbel, von welchen der letzte in der eigentümlichen Weise, wie man es auch sonst bei Vögeln trifft, vergrößert ist.

Bewegungsmöglichkeiten.

1. Sagittale Flexion. — Dieselbe beträgt in dorsaler wie in ventraler Richtung je 90° .

2. Seitliche Flexion. — 90° nach jeder Seite.

3. Drehung. — 45° nach jeder Seite.

Der Schwanzteil der Wirbelsäule ist also außerordentlich beweglich. Insbesondere ist auf die Drehfähigkeit desselben hinzuweisen angesichts des Umstandes, daß eine solche sich außerdem nur in der Atlas-Hinterhauptverbindung und in der Atlas-Epistropheusverbindung findet, in der ganzen übrigen Wirbelsäule dagegen fehlt. Der Kranich verhält sich in dieser Beziehung genau ebenso wie andere Vögel, und es ist die Drehfähigkeit des Schwanzes ja auch aus der Verwendung dieses Abschnittes als Stener erklärlich. Genau ebenso wie die Vögel verhält sich von den Reptilien der Alligator⁵⁾, der auch eine erhebliche Drehfähigkeit im Schwanz besitzt, während diese sonst abgesehen von der Atlas-Hinterhauptverbindung und der Atlas-Epistropheusverbindung fehlt.

⁵⁾ „Über die Alligatorwirbelsäule“, Arch. f. Anat. und Physiol. Jahrg. 1914. Anat. Abt. S. 103 bis 142. S. dort S. 112.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Gesellschaft Naturforschender Freunde zu Berlin](#)

Jahr/Year: 1918

Band/Volume: [1918](#)

Autor(en)/Author(s): Virchow Hans

Artikel/Article: [Über die Wirbelsäule des Kranichs. 105-132](#)