

## X.

**Studien über die physikalischen Bedingungen der aufrechten Stellung und der normalen Krümmungen der Wirbelsäule.**

Von Dr. W. Parow in Berlin, bisher in Bonn.

Ein Beitrag zur Anatomie und Physiologie und zum Versuch einer wissenschaftlichen Begründung der Lehre von den Rückgratsverkrümmungen.

Zweiter Theil.

(Fortsetzung von S. 109.)

(Hierzu Taf. X.)

---

**Analyse der physikalischen Bedingungen der Gleichgewichtslage in der aufrechten Stellung des menschlichen Körpers.**

Bei der aufrechten Stellung haben wir den Rumpf in solche Verhältnisse zu bringen, dass 1) der Körper in seiner Gesamtheit feststeht, 2) dass der Rumpf zu den Schenkelachsen in ein zweckmässiges Neigungsverhältniss tritt, 3) dass die Krümmungen der Wirbelsäule ein gewisses Maass nicht überschreiten. Diese Bedingungen lassen sich auf sehr verschiedene Weise erfüllen, und diese Vielfältigkeit begründet sich einerseits durch die Drehbarkeit des Rumpfes um die Hüftaxe, andererseits durch die grosse Biegsamkeit der Wirbelsäule, die sie grosser Gestaltveränderungen fähig macht. Dass der Körper feststeht, hängt von der Lage seines Gesammt-Schwerpunktes ab und wird in seinen wesentlichen Beziehungen im ersten Abschnitt dieser Betrachtungen behandelt werden. Dass der Rumpf auf der Hüftachse das für die aufrechte Stellung zweckmässige Neigungsverhältniss erhält, wird sich als abhängig erweisen von der Lage des Rumpf-Schwerpunktes gegen die Hüftachse, und im zweiten Abschnitt betrachtet werden. Die Erfüllung der dritten Bedingung, dass die Krüm-

mungen der Wirbelsäule ein gewisses Maass nicht überschreiten, wird besondere Betrachtungen nöthig machen, welche die Stellung des biegsamen Theils der Wirbelsäule gegen ihren mit dem Becken festverbundenen Theil zum Gegenstand haben, natürlich das Becken dabei innerhalb bestimmter Neigungsgrade fest gedacht, und werden wir diese Verhältnisse im dritten Abschnitt erörtern. Nach der Discussion der namhaft gemachten einzelnen Bedingungen werden wir die Vereinigung derselben zur Erzeugung der Aufrechtstellung des lebenden Körpers im vierten Abschnitt betrachten. Diesem fügen wir noch einen fünften Abschnitt hinzu, in dem wir das freie Aufrechtsitzen einer Erörterung unterziehen.

#### 1. Die Gleichgewichtslage des ganzen Körpers über der Fussstützfläche.

Der menschliche Körper steht auf der von seinen Füssen umschlossenen Fläche, d. h. derjenigen Fläche, welche von den beiden äusseren Rändern der auf dem Fussboden ruhenden Sohlenflächen und den deren Endpunkten verbindenden geraden Linien begrenzt wird, in stabilem Gleichgewicht. So lange eine aus dem Schwerpunkt des Körpers herabfallende Senkrechte — die Schwerlinie — in diese Fläche trifft, wird der Körper aufrecht erhalten bleiben, fällt sie über die Grenze derselben hinaus, so muss er umfallen, und die äusserste Anspannung aller Muskelkräfte ist dann nicht im Stande, ihn aufrecht zu erhalten, sondern dies kann nur durch eine ihm von aussen gewährte Stütze geschehen, die mit seinen Füssen zusammen eine Stützfläche von grösserer Ausdehnung darbietet. Die Stabilität des Körpers wächst mit der Grösse der von den Füssen umschlossenen Stützfläche, während diese Grösse von der jedesmaligen Stellung der Füsse abhängt. Beispielsweise wird unter den Stellungen, in welchen sich die Fersen berühren, diejenige die grösste Basis geben, bei welcher die Längenachsen der Sohlen auf einander senkrecht stehen, mithin die von den Füssen umschlossene Fläche ein rechtwinkliges Dreieck bildet. Es kann ferner die Grösse der Stabilität sich ändern mit der Lage des Punktes, in welchem die Schwerlinie die Basis trifft. Die Stabilität wird ferner bei einer und derselben

Lage dieses Punktes in verschiedenen Richtungen verschieden sein. Denn man bemisst bekanntlich die Stabilität eines mit einer Fläche auf einer Unterlage ruhenden Körpers nach der Grösse der Kraft, welche erforderlich ist, ihn über irgend eine der Seiten der Basis umzuwerfen, und es ist sonach ersichtlich, dass im vorliegenden Falle das Umwerfen über verschiedene Seiten hinaus eine verschiedene Kraft erfordert. Man kann deswegen nicht von einer Stellung sprechen, bei welcher die Stabilität schlechthin im Maximum ist, sondern nur von einer solchen, bei welcher die Stabilität in einer bestimmten Richtung ihr Maximum erreicht. Demnach wird man z. B., um sich gegen einen starken Wind möglichst festzustellen, die Füsse so postiren müssen, dass die von ihnen umschlossene Fläche in der Richtung des Windes möglichst ausgedehnt ist, und der Schwerpunkt über die dem Winde zu-gekehrte Spitze der Stützfläche fällt. Fragt man nach der sichersten Stellung, wenn man keiner Richtung der Kräfte, welche das Gleichgewicht stören können, den Vorzug gibt, also gleichzeitig auf alle Störungen gefasst sein will, so muss der Schwerpunkt des Körpers über dem Schwerpunkt der Stützfläche liegen\*). Eine solche Stellung, bei welcher natürlich Symmetrie aller Seitentheile vorausgesetzt wird, ist diejenige, welche wir als Grundstellung bei unseren Betrachtungen annehmen.

\*) Unter dem Schwerpunkt einer Fläche versteht man den Schwerpunkt eines dünnen homogenen Plättchens von der Form dieser Fläche. Beim Dreieck liegt der Schwerpunkt in der Verbindungsline von der Spitze nach der Mitte der Basis, und zwar in dem Punkte, der doppelt so weit von der Spitze wie von der Basis entfernt ist. Ferner bei Parallelogrammen und solchen Paralleltrapezen, in denen die schiefen Seiten gegen die Parallelen gleich ge-neigt sind, liegt der Schwerpunkt im Durchschnittspunkt der Diagonalen. Bei Trapezoïden findet man den Schwerpunkt, wenn man dieselben durch eine Diagonale in zwei Dreiecke theilt, von jedem für sich die Lage des Schwerpunkts bestimmt, beide Punkte durch eine Grade verbindet und diese nach dem Verhältniss der Grösse der beiden Dreiecke so theilt, dass der Abstand des Schwerpunktes jedes Dreiecks vom Theilungspunkte in umgekehrtem Verhältniss zu seiner Grösse steht. Dieser Theilungspunkt ist der Schwerpunkt des Trapezoïds.

## 2. Gleichgewichtslage des Rumpfes auf der Hüftaxe.

Der Rumpf balancirt um die Drehaxe des Hüftgelenkes auf den Schenkeln. Bei alleiniger Wirkung der Schwere würde zur Herstellung des Gleichgewichts daher der Schwerpunkt des Rumpfes genau senkrecht über jener Axe sich befinden müssen, falls diese eine vollkommen freie wäre. Wegen der Lage des Schwerpunktes über ihr würde daher das Gleichgewicht ein labiles sein, d. h. es würde bei der geringsten Störung aufgehoben werden. — Die Bewegung um die Axe ist aber nicht eine vollkommen freie, sondern dadurch beschränkt, dass die Masse der Weichtheile des Rumpfes mit der Masse der feststehenden Schenkel in Zusammenhang steht. Dieser Zusammenhang ist zwar kein unter sich fester, gibt aber doch einen merklichen Widerstand für die relative Bewegung des Rumpfes gegen die Schenkel. Der Widerstand wird gebildet durch die Cohäsion und Elasticität der den Zusammenhang bildenden Weichtheile, Muskeln, Fascien, Blutgefässen, Haut u. s. w. Besonders bemerkenswerth ist dabei noch die filamentöse Natur des Muskelgewebes, denn gerade die Spannung solcher Fäden ist ganz vorzüglich geeignet, eine sonst freie Bewegung zu hemmen\*).

\*) Welche Wirkung die Spannung solcher Fäden auszuüben und was selbst die Elasticität eines schwachen Spinnenfadens vermag, um Bewegungen zu hemmen, sieht man aus einer Erscheinung, welche bei den Beobachtungen mit dem Gauss'schen Magnetometer öfter wahrgenommen wurde, und darin besteht, dass die Bewegungen eines horizontalen sechspfündigen Stabes, der an einem langen Bündel Coconfäden aufgehängt ist, und durch welche die magnetische Declination bestimmt wird, durch Einwirkung einzelner Spinnenfäden, die eine Verbindung zwischen jenem schweren Stabe und den festen Seitenwänden des Gehäuses herstellten, so beeinträchtigt wurde, dass die Ablenkung der Stabrichtung, um welche die Oscillationen stattfinden, zuweilen bis auf 8 Minuten zunahm.

Ob die Muskelfaser einen eben so grossen Widerstand zu bieten vermöge, wie der Spinnengewebsfaden, wollen wir dahingestellt sein lassen. Nach Ed. Weber's Untersuchungen (Wagner's Handwörterb. d. Physiol. Bd. III. Abthl. 2. S. 108) besitzen die Muskeln im lebenden Körper eine nur geringe, wenngleich sehr vollkommene Elasticität. Es kommt hier aber die grosse Menge der Fasern in Betracht; und dass die Elasticität der Muskelfasern

Es muss deshalb die Gleichgewichtslage des Rumpfes auf der Drehungsaxe des Hüftgelenkes als eine innerhalb gewisser Grenzen stabile aufgefasst werden und das um so mehr, als nur nach der Beugeseite die Drehungen um die Hüftaxe freier, dagegen nach der Streckseite hin durch Spannung des starken Ligam. ilio-femorale beschränkt sind, an dieser aber das Gewicht der Muskelmasse gegen das der Beugeseite in einem Verhältniss von ungefähr 3 zu 2 steht\*), während wegen der durchschnittlich grössern Länge der Beugemuskeln die Fasermenge noch ungleich mehr zu Gunsten der Streckmuskeln ausfällt. Da nun selbstverständlich der Widerstand gegen die freie Drehung auf der Seite am grössten ist, wo die grösste Menge von Muskelfäden sich befindet, also gerade der Beugung nach vorn gegenüber, so ergibt sich, dass bis zu einer bestimmten Grenze eine Drehung ausgeführt werden kann, ehe es nöthig wird durch vitale Muskelaction der Störung des Gleichgewichts vorzubeugen.

Als Kräfte, welche die Gleichgewichtslage des Rumpfes um die Hüftaxe bestimmen, dürfen wir, abgesehen von der in extremen Streckungen eintretenden Bänderspannung, das auf den Schwerpunkt des Rumpfes wirkende Körpergewicht einerseits, und die unbewusst willkürliche Muskelcontraction andererseits auffassen. Die Resultirende dieser Kräfte müsste bei vollkommen freier Drehung genau durch die Axe derselben selbst gehen. Bei der thatsächlich unfreien Drehung dagegen darf sie sich so weit von der Drehungsaxe entfernen, als die Grenze reicht, innerhalb welcher die oben gedachten Cohäsionskräfte eine Drehung gestatten. Der Richtung jener Resultirenden ist also durch die Cohäsions-

doch nicht sehr unerheblich sei, geht aus der bekannten Erscheinung des starken Zurückziehens durchschnittener Muskeln hervor. — Wie sehr übrigens der Widerstand der Weichtheile im Allgemeinen die sonst freie Bewegung gerade am Hüftgelenk beschränkt, ergibt sich daraus, dass die Gebr. Weber (Mechanik der Gehwerkzeuge S. 147) den Umfang der Beugung und Streckung des Hüftgelenks am Skelet mit  $139^{\circ}$ , am lebenden Menschen dagegen mit nur  $86^{\circ}$  bestimmten.

\*) Vgl. Weber's Mechanik der Gehwerkzeuge S. 213 und H. Meyer in Müller's Archiv 1853. S. 17.

kräfte ein gewisser Spielraum gestattet, und es tritt innerhalb desselben Stabilität ein, deren Grösse von dem Widerstand abhängt, den die Cohäsionskräfte der Drehung entgegensemzen. Innerhalb dieser Stabilitätsgrenze kann also die Gleichgewichtslage des Rumpfes um die Hüftaxe erhalten bleiben, während doch den Muskeln so lange Ruhe vergönnt bleibt, als keine diese Stabilitätsgrenze überschreitenden Störungen der Gleichgewichtslage eintreten.

Je weiter wir in der physiologischen Beobachtung vorschreiten, um so mehr finden wir überall die Muskelactionen durch physikalische Hülfsmittel unterstützt, die willkürlichen Muskelcontractio-nen hauptsächlich als Bewegungscomponenten für die Stellungsveränderungen des Körpers und seiner Theile, und dabei als stets bereite Wächter gegen äussere Kräfte, welche die aus physikalischen Componenten resultirende Gleichgewichtslage zu stören streben, in die Erscheinung treten, wie es der physiologischen That-sache entspricht, die uns eine baldige Erlähmung der Muskelkräfte bei anhaltender Thätigkeit ohne Ruhepunkte erkennen lässt.

Bei einer möglichst ungezwungenen Stellung werden sich die Verhältnisse daher von selbst so gestalten, dass der Muskelthätigkeit möglichst wenig zur Last fällt. Hiernach würde allerdings eine solche extreme Stellung als die bequemste erscheinen können, bei welcher Bänderspannung die Bewegung hemmt, wenn nicht mit dieser Stellung eine unbequeme Anspannung der an der Beuge-seite gelegenen Weichtheile verbunden wäre. Soll nun dennoch mit Ausschluss jener durch Bänderspannung bedingten Ruhelage der Muskelthätigkeit möglichst wenig Kraftaufwand zugemuthet werden, so wird die oben gedachte Resultirende sich fast auf die Schwerkraft reduciren müssen, d. h. es wird die Schwerlinie sich nicht über die erwähnten Grenzen hinaus von der Hüftaxe entfernen dürfen, und damit die Stabilität innerhalb dieser Grenzen möglichst gross sei, wird das Moment der Schwere ein möglichst geringes sein müssen, damit es der Muskelkraft leicht werde, die Resultirende wieder in jene Grenzen zurückzuführen. Dieser Effect wird aber dann begünstigt, wenn die Schwerpunkte des Kopfes und des Rumpfes möglichst nahe in dieselbe Verticale fallen.

Die Versuche haben mit der grössten Constanze darauf ge-

führt, dass das Atlasgelenk in der ungezwungenen aufrechten Stellung nahezu senkrecht über der Hüftaxe sich befindet. Befindet sich also, wie es bei der aufrechten Kopfstellung ohne Zweifel der Fall ist, der Kopfschwerpunkt über dem Atlasgelenk, so nimmt derselbe die höchste Stelle ein, welche er einnehmen kann, wenn man, unter übrigens gleichen Verhältnissen die Neigungen der oberen Halswirbel verändert. Ganz dasselbe findet statt mit dem Schwerpunkt des Oberleibes und des Unterleibes, d. h. auch diese nehmen ihre grösstmögliche Höhe ein, wenn sie senkrecht über der Hüftaxe stehen, verglichen mit denjenigen Stellungen, in denen die Neigungen der nächst tieferen Wirbel geändert worden sind. Es wird folglich die Gesammthöhe des Menschen zum Maximum, wenn die Partialschwerpunkte der verschiedenen Rumpftheile jeder für sich in der Vertikalebene liegen. Beachtet man nun noch die Bedingung, dass die Krümmungen der Wirbelsäule möglichst gering sein sollen, so wird man annehmen können, dass in unserer ungezwungenen Aufrechtstellung die Höhe der Person ihr Maximum, verglichen mit allen übrigen Stellungen, erreicht. Es wäre deshalb wohl angemessen, dieses Merkmal in die Definition der wahren aufrechten Stellung aufzunehmen, die man dann zum Unterschiede von der als ungezwungenen charakterirten, die mathematische Aufrechtstellung nennen und als diejenige definiren könnte, welche bei möglichst geringen Krümmungsverhältnissen den Menschen in seiner grössten Höhe erscheinen lässt. Daraus würde dann von selbst folgen, weil die Krümmungen sich in den verschiedenen Aufrechtstellungen verhältnismässig wenig ändern, dass die Partialschwerpunkte genau senkrecht über der Hüftaxe stehen. Da in der That bei der ungezwungenen Aufrechtstellung, in der nicht blos die Muskelthätigkeit im Minimum ist, sondern auch die Spannungen der Weichtheile sich auf ein Minimum zu reduciren scheinen, der Kopfschwerpunkt in die mehrgedachte Vertikalebene fällt, und soweit sich beurtheilen lässt, auch die Schwerpunkte des Ober- und Unterleibs dieser Ebene sehr nahe sind, so ist es sehr wahrscheinlich, dass die mathematische Aufrechtstellung mit der früher definirten ungezwungenen Aufrechtstellung identisch ist. Es findet dies auch eine Bestätigung darin, dass in allen von mir

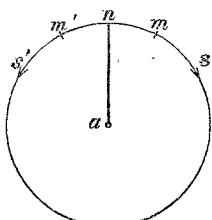
angestellten Messungen wirklich die Höhe des Atlasgelenkes in der ungezwungenen Aufrechtstellung grösser gefunden wurde, als in den anderen damit verglichenen. Namentlich ist die militairische keine wahre Aufrechtstellung, weil bei ihr der Kopfschwerpunkt erniedrigt erscheint. Wegen des Zurückziehens der Schultern musste der Kopf vorgeschoben werden, der Atlas also einen sinkenden Kreisbogen nach vorn beschreiben\*).

\* ) Für Leser, welche mit mechanischen Vorstellungen nicht vertraut genug sind, mögen folgende Erläuterungen hier eine Stelle finden.

Wenn auf einen Punkt  $m$  eines um eine Axe drehbaren Körpers eine Kraft wirkt, so versteht man unter dem Moment (statischem Moment oder Drehungs-Moment) der Kraft bezogen auf jene Axe: das Zahlenprodukt, welches entsteht, wenn man die Grösse der Kraft mit dem sogenannten Hebelarm, oder besser gesagt Momentenarm multiplicirt, während unter diesem Momentenarm der senkrechte (kürzeste) Abstand der Drehaxe von der Kraftrichtung zu denken ist, d. h. von der Richtung derjenigen geraden Linie, in welcher die Kraft den Punkt  $m$  bewegen würde, wenn er vollkommen frei, und namentlich in keinem Zusammenhang mit der Axe stände. — Das Moment drückt, wie die Mechanik lehrt, die Stärke aus, mit welcher die Kraft den Punkt  $m$  um die Axe zu drehen strebt. Demnach hat z. B. eine Kraft von 8 Pfund bei einem Momentenarm von 2 Cm. dieselbe Wirkung, wie eine Kraft von 4 Pfund bei einem Momentenarm von 4 Cm., oder eine Kraft von 16 Pfund bei einem Momentenarm von 1 Cm., weil das Moment in allen 3 Fällen = 16 ist, wofür nur alle 3 Kräfte in demselben Sinne zu drehen streben, und zwar ist die Wirkung 16mal so gross, wie bei einer Kraft von 1 Pfund mit einem Momentenarm von 1 Cm. — deren Wirkung sonach die Einheit der Drehungsstärke repräsentirt.

Ist die auf einen starren Körper wirkende Kraft die Schwere, so dass also jedes der unendlich vielen Atome desselben von einer Kraft angegriffen wird, deren Richtung vertical von oben nach unten geht, so kann man bekanntlich, ohne dadurch an der Bewegung etwas zu ändern, alle die unend-

Fig. A.



lich vielen Kräfte ersetzen durch eine einzige Kraft, welche den Schwerpunkt des Körpers angreift, und deren Grösse gleich der Summe der Grössen aller dieser Kräfte ist, während diese Grössen sich durch das Gewicht des Körpers ausdrückt.

Bezeichnet nun in Fig. A.  $m$  den Schwerpunkt eines Körpers, und steht derselbe in solcher Verbindung mit einer festen Axe  $a$ , dass er seine Entfernung von derselben nicht ändern kann, so kann er keine andere Bewegung aus-

3. Gleichgewichtslage der Wirbelsäule auf dem Becken wie der einzelnen Wirbelbeine und der einzelnen Wirbelsäulen-Segmente übereinander.

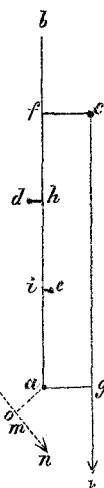
Als Grundlage des Aufbaues des Rumpfes dient das Becken mit der Wirbelsäule, deren unterer absteigender Theil, das Kreuz-

führen, als in einem Kreise, dessen Centrum auf a liegt. Da ihn nun die Schwere zu senken trachtet, so wird er sich, statt in gerader senkrechter Richtung auf dem absteigenden Theil des Kreisbogens bewegen, also — wenn n der höchste Punkt des Kreises ist — in der Richtung von m nach s. Die Stärke der Drehung drückt sich dabei in der Zahl der Grade des Kreissegments aus, das in einem kleinen Zeitraum von bestimmt gegebener Dauer beschrieben wird. Läge dagegen der Schwerpunkt in m', so würde er sich in der Richtung nach s' bewegen, also eine Drehung in entgegengesetzter Richtung veranlassen.

Wären mehrere zusammenhängende Körper vorhanden, die um die Axe a drehbar sind, und befände sich der Schwerpunkt des einen in m, der des anderen in m', so würden sich beide nach entgegengesetzter Richtung zu drehen streben, und wenn man diese Richtungen durch die Prädicate rechts und links unterscheiden will, wird man, wie es auch in der Mechanik gebräuchlich, passend von rechts drehenden und links drehenden Kräften sprechen können. Befände sich der Schwerpunkt in n, also senkrecht über a, so würde gar keine Drehung stattfinden, weil das Bestreben nach rechts und nach links sich zu bewegen gleich gross wäre.

Jetzt stelle in Fig. B. die Papier-Ebene die Profil-Ebene eines menschlichen Körpers vor, a den Punkt, durch welchen die Hüftaxe geht, und ab die (verticale) Linie, in welcher die durch die Hüftaxe gehende Vertical-Ebene die Profil-Ebene schneidet. Ferner möge c den Schwerpunkt des Kopfes, d den des Oberleibs mit den Armen, und e den des Unterleibs bezeichnen. Die Verticallinie ck stellt die Richtung der auf e wirkenden Schwerkraft dar, also das Perpendikel ag den zugehörigen Momentenarm. Für ag kann man bequemer das gleich lange Perpendikel cf setzen, welches die senkrechte Entfernung des Schwerpunkts c von der Vertical-Ebene ab angibt. Ist nun das Kopfgewicht etwa 10 Pfund und  $fc = 6$  Cm., so wird das Moment der auf dem Kopf wirkenden Schwere ein rechtsdrehendes von der Grösse  $10 \times 6 = 60$ . Hat ferner der Oberleib ein Gewicht von 40 Pfund und ist  $dh = 2\frac{1}{2}$  Cm., so hat die auf den Oberleib wirkende Schwere ein links drehendes von der Grösse von  $40 \times 2\frac{1}{2} = 100$ . Hat endlich der Unterleib ein Gewicht von 30 Pfund. und ist der zugehörige Momentenarm ei = 1 Cm., so wird das corre-

Fig. B.



bein, nahezu unbeweglich mit dem Becken verbunden ist, und deren aufsteigender Theil eine eigenthümliche Gliederung zeigt.

spondirende Moment ein rechtsdrehendes von der Grösse 30. Wären nun die Schwerpunkte c, d und e unter sich fest verbunden, d. h. wäre das durch sie bestimmte Dreieck von unveränderlicher Form, so dass, wenn z. B. c sich wirklich in seinem Kreise um a um eine bestimmte Anzahl Grade oder Gradtheile dreht, sich d und e in ihrem Kreise um ebenso viel Grade oder Gradtheile in demselben Sinne mitdrehen müssen — welche Bedingung man auch hier als erfüllt annehmen kann, wenn man nur den ersten Augenblick der beginnenden Drehung oder vielmehr die beginnen wollende Drehung betrachtet, worauf es hier allein ankommt — so würde jeder der 3 Punkte alle 3 Drehungen zugleich auszuführen streben, d. h. diese Punkte würden gleichzeitig (und somit der ganze Rumpf mit dem Kopf) sich mit den Momenten 60 und 30 nach rechts, und mit dem Moment 100 nach links zu drehen streben, folglich, weil nach links ein Ueberschuss von 10 ist, effectiv eine Drehung von der Stärke 10 nach links erfolgen. Wäre dagegen d h nicht  $= 2\frac{1}{2}$  Cm., sondern  $= 2\frac{1}{4}$ , so würden die Drehungen nach rechts und links dieselbe Stärke 90 haben und der Körper würde in Ruhe bleiben, d. h. im Gleichgewicht sich befinden.

Hierbei war vorausgesetzt, dass der Rumpf mit dem Kopf frei um die Axe a drehbar sei. Dies ist in Wirklichkeit nicht der Fall, da der Rumpf mit den Schenkeln durch Weichtheile verbunden ist. Um sich von deren Einfluss einen Begriff zu machen, denke man sich beispielsweise unter m n ein vom Becken nach einem Schenkel gehendes Muskelbündel, welches bei der betrachteten Stellung des Körpers eine gewisse Spannung angenommen hat; man denke ferner, dass sich dieses Bündel in Folge der Spannung in Vergleich mit seinem ungespannten Zustande um eine gewisse Grösse verlängert habe, und dass man, wenn es bei n losgeschnitten würde, ein Gewicht von  $\frac{1}{100}$  Pfund anhängen müsste, um dieselbe Verlängerung hervorzu bringen, so kann man  $\frac{1}{100}$  Pfund als Maass der Spannung des Bündels in der vorhertrachteten Stellung ansehen, und man kann, ohne an der Rumpfstellung etwas zu ändern, das Bündel ganz beseitigt denken, wenn man an m eine Kraft von der Grösse von  $\frac{1}{100}$  Pfund in der Richtung von m nach n wirken lässt. Ist dann das von a auf m n gefällte Perpendikel a o  $= 2$  Cm., so wäre die Bündelspannung äquivalent mit einer links drehenden Kraft vom Momente  $\frac{2}{100}$ . Wäre das Bündel m n nicht in einem ausgedehnten, sondern in einem comprimirten Zustande, so bekäme man eine Spannung von entgegengesetzter Richtung. Liesse sich nämlich die wirklich stattfindende Compression auf das getrennte und passend befestigte Bündel durch einen Druck künstlich erzeugen, so kann man annehmen, der Rumpf drücke auf m in der Richtung von m nach n mit einer Kraft von  $\frac{1}{100}$  Pfund. Besteht sich nun der Rumpf in Ruhe, so muss derselbe in m einen ebenso starken Gegen-

Die bis zu einem gewissen Grade gegen einander beweglichen Glieder derselben sind miteinander verbunden, am innigsten durch die Intervertebralscheiben, nächstdem durch das vordere und hintere Längsband und die die Wirbelbogen mit einander verbindenden und die Gelenkflächen der schiefen Fortsätze in festerem Contact haltenden gelben Bänder, dann durch die von Wirbel zu Wirbel

druck Seitens des Muskels erfahren, weil sonst der Punkt  $m$  am Rumpf eine Bewegung machen würde; es drückt also die Bündelspannung in  $m$  auf den Rumpf in der Richtung von  $m$  nach  $o$ , und zwar mit der Stärke von  $\frac{1}{1600}$  Pfund und wiederum an den Momentenarm  $a$   $o = 2$  Cm., wirkt folglich gleich einer rechts drehenden Kraft mit dem Moment  $\frac{2}{1600}$ . Das Bündel kann man sich dabei wieder gänzlich beseitigt denken, wenn man bei  $m$  eine Kraft von der bezeichneten Grösse und Richtung substituiert. Stellt man sich nun vor, man habe auf solche Weise die Spannungen sämmtlicher Weichtheile durch Kräfte ersetzt (wobei man dann die Weichtheile, welche Rumpf und Schenkel mit einander verbinden sollen, fortzudenken hat, so dass der Rumpf als frei beweglich um die Axe  $a$  erscheint) und deren Momente ermittelt: so hat man nur die rechts und links drehenden Spannungsmomente von einander zu subtrahiren, um den Gesammeffect des Zusammenhangs mit den Weichtheilen zu erhalten. Fände man, dass die linksdrehenden Spannungsmomente die rechtsdrehenden um 30 übertreffen, so würde in dem zuerst gewählten Beispiel der Zusammenhang der Weichtheile die durch den Einfluss der Schwere erstrebte Drehung um 30 nach rechts eben vollständig verhindern und ein Gleichgewicht herstellen. Wäre das resultirende Moment der sämmtlichen (passiv gedachten) verbindenden Weichtheile grösser oder geringer, so dass eine Compensation nicht eintrate, so würde man durch willkürliche Muskelcontractionen meist die Grösse der Spannungen so abändern können, dass die Compensation wieder vollständig wird, und man hätte demnach im erstern Fall eine Ruhestellung durch Hülfe des passiven Einwirkens der Weichtheile, im letztern Fall durch passive und active Mithülfe der Weichtheile hervorgebracht.

Wenn die Körperstellung eine solche ist, dass die Ruhelage schon allein durch die Schwere hervorgebracht sich denken lässt, d. h. dass die rechts und links drehenden Momente der Schwere einander gleich sind, so müssen die verbindenden Weichtheile entweder neutral, d. h. ganz in spannungslosem Zustande sein, oder es müssen sich ihre links und rechts drehenden Momente gleichfalls einander aufheben. Ob eine Stellung der ersten Art (eine Stellung mit volliger Spannungslosigkeit) möglich ist, wollen wir hier nicht weiter erörtern, wohl aber darf es als wahrscheinlich gelten, dass man bei einer Ruhestellung, bei der man gar keine Unbequemlichkeit oder Anstrengung empfindet, einem solchen Zustande sehr nahe ist.

gehenden Muskeln und Bänder, und am entferntesten endlich durch die übrigen benachbarten Weichtheile, welche den Rumpf zu einem Continuum machen. Durch diese Gliederung ist die Wirbelsäule einer grossen Mannigfaltigkeit von Formen fähig, in deren Folge hinwiederum die Schwerpunkte der einzelnen Rumpftheile eine gleiche Mannigfaltigkeit von verschiedenen Stellungen annehmen. Die besondere Form, welche die Wirbelsäule in einem gegebenen Fall annimmt, hängt von der Lage der Partialschwerpunkte ab, und wird dann in erster Linie von den Intervertebralscheiben und danach in der oben angegebenen Rangfolge von den anderen Verbindungsmitteln bestimmt. Bisher hat man den Intervertebralscheiben und den gelben Bändern eine zu ausschliessliche Rolle zuertheilt, und andererseits die Schwere zu wenig berücksichtigt, am wenigsten aber auf die Variationen in der Stellung der Partialschwerpunkte geachtet.

Denken wir zunächst die Eingeweide und den Kopf beseitigt, um an die Leichenexperimente mit isolirter Wirbelsäule und anhängendem Thorax anzuknüpfen, und fragen nach den Verhältnissen, unter denen eine Aufrechthaltung stattfindet.

Betrachten wir zu dem Ende die Biegungsverhältnisse an einer beliebigen Stelle der Wirbelsäule, und zwar zuerst an einem Paare benachbarter freier Wirbel, etwa an einem Lendenwirbelpaare, von denen wir den unteren des gewählten Paars als Basis und fest denken dürfen. Die diese bedeckende Intervertebralscheibe steht dann unter dem Druck des mit den oberen Rumpftheilen belasteten oberen Wirbels, und zwar kann dabei die Schwerlinie dieses Rumpftheiles entweder die genannte Basis treffen oder nicht.

Trifft die Schwerlinie die Basis nicht, und geht sie etwa vorn vor derselben vorbei, so wird sich die obere Wirbelsäule um die vordere untere Kante unseres oberen Wirbelkörpers zu drehen streben, diese Kante wird die darunter liegende Stelle der Intervertebralscheibe bis zu einem Maximum comprimiren, bis der durch die Compression vermehrte Widerstand dem Druck das Gleichgewicht hält, und der hintere Rand des oberen Wirbelkörpers wird sich im umgekehrten Verhältniss zur Compression der Vorderseite der Intervertebralscheibe und soweit abheben, bis der mit dem

Abheben wachsende Widerstand der gelben Bänder und der hinter den Wirbelkörpern liegenden Weichtheile die Weiterdrehung bindert. Das Maass der Drehung, also die Stärke der Umbiegung der Wirbelsäule an dieser Stelle wird bei gegebener Resistenz dieser Weichtheile offenbar wachsen mit dem Gewicht des oberen Rumpftheiles, und mit der Entfernung seiner Schwerlinie von den Wirbelkörpern, d. h. mit dem Moment der Schwere dieses Rumpftheiles. — Geht die Schwerlinie hinter den Wirbelkörpern herab, so kommt es zu einer analogen Drehung um die hintere Kante des oberen Wirbels, doch findet die Drehung bald ihre Grenze in dem Knochencontact der Wirbelbogen mit den Fortsätzen. —

Denken wir uns dagegen die Schwerlinie durch die Basis hindurchgehend, so wird eine Drehung um eine der beiden Kanten des oberen Wirbels ausbleiben, und wenn wir der Einfachheit wegen die Basis als horizontal voraussetzen, wird eine einfache Compression der Intervertebralscheiben ohne Umbiegung der Säule an dieser Stelle stattfinden, sobald die Schwerlinie durch das Centrum des Syndesmosenkerns geht, weil dann rings um dieselbe die Widerstände in gleichen Abständen einander gleich sind. Fällt sie aber vor oder hinter das Centrum des Syndesmosenkerns herab, so wird, da die Resistenz in der Richtung des Durchmessers dieses ellipsoidisch zu denkenden Kerns am grössten ist, eine je nach der Entfernung der Schwerlinie vom Centrum nach der Kante hin mehr oder weniger schwache Umbiegung um eine Queraxe erfolgen, die durch denjenigen Punkt geht, in welchem die untere Fläche des oberen Wirbels von der Schwerlinie getroffen wird. Die auf der einen Seite dieser Queraxe liegenden Wirbelpunkte sinken tiefer in die Intervertebralscheiben, die auf der anderen Seite werden durch den Syndesmosenkern hinaufgedrängt. Diese Drehung ist zwar eine verhältnissmässig viel schwächere, wie die oben besprochene Drehung um die Kanten, aber die, wenn auch Anfangs schwache Umbiegung transplacirt, in Folge des Verwachsens der Intervertebralscheiben mit der Basis, den Schwerpunkt des oberen Rumpftheils, erzeugt also eine weitere Entfernung der Schwerlinie und damit eine weitere Umbiegung, die namentlich, wenn damit ähnliche Verhältnisse in den höher liegenden

Wirbeln verbunden sind, ein völliges Heraustreten der Schwerlinie und damit eine vollständige Umbiegung mit Drehung um die Wirbelkanten, wie sie oben erörtert, zur Folge haben kann \*).

Aus dieser Betrachtung ist die bei den Leichenexperimenten hervortretende auffallend geringe Stabilität der isolirten Wirbelsäule vollkommen erklärlich. Zugleich sieht man, dass an Stabilität etwas gewonnen wird, wenn man den Rumpf beschwert, es wird nämlich dadurch der Druck auf die Intervertebralscheiben und damit die Compression vergrössert und die Resistenzverschiedenheiten gleichen sich dadurch etwas aus.

Nehmen wir statt eines Lendenwirbelpaars ein Brustwirbelpaar, so ändern sich die Verhältnisse nur dahin ab, dass die Biegungen viel geringer werden, erstlich wegen des geringeren Gewichts des darüberliegenden Rumpfheils, zweitens weil die Intervertebralscheiben ungleich niedriger wie an den Lendenwirbeln sind, und drittens ganz besonders, weil zu den bisher betrachteten Verbindungen zwischen den Wirbeln noch die Verbindung mittelst der Rippen hinzukommt, die ihrerseits wieder durch den Anschluss an das Brustbein einen grossen Widerstand gegen Formveränderungen leisten, und die auf den Brustwirbeln ruhende Last über das ganze Segment derselben vertheilen.

Die Gesammtform der Wirbelsäule ist nun offenbar das Resultat der einzelnen Biegungen der aufeinander folgenden Wirbelpaare. Bestimmt man die auf die beschriebene Weise entstehenden Biegungen der einzelnen Wirbelpaare, so erhält man die Form, welche die Wirbelsäule in ihrer Gesamtheit darbietet. Wir sehen hieraus, welchen Einfluss eine gegenseitige Verschiebung der Rumpfheile auf die Gestaltung der Wirbelsäule haben muss und wie namentlich Änderungen in der Lage der auf dem obersten

\*) Denkt man sich die Basis nicht genau horizontal, so ändert sich das geschilderte Verhältniss nur in soweit ab, dass, falls eine reine Compression ohne Drehung stattfinden soll, die Schwerlinie dann nicht mehr genau durch das Centrum des Syndesmosenkerns gehen kann, sondern sehr nahe dabei in diejenige Verticalrichtung fallen muss, um welche die Widerstände symmetrisch vertheilt sind. Auch wird der Zeitpunkt, wo die Schwerlinie aus der Basis heraustritt, bei erheblicher Schiefe der Basis, wie bei der oberen Fläche des Kreuzbeins früher eintreten, wie bei horizontaler Basis.

Theil der Wirbelsäule ruhenden Last, also des Kopfes oder diesen ersetzender Gewichte die Form der Wirbelsäule selbst innerhalb des Bereiches der Aufrechthaltung werden abändern können (vergl. die Zürcher Leichenversuche). Immer aber wird, wenn die Aufrechthaltung des von den Eingeweiden abgesonderten Rumpfes bewahrt bleiben soll, die Biegungen also das dazu erforderliche Maass nicht überschreiten sollen, entweder jeder Wirbel von der Schwerlinie der darüberliegenden Rumpftheile getroffen werden, oder dieselbe hinter ihn herabgehen müssen, wo durch den Knochencontact das Maass der Biegungen beschränkt ist.

Lassen wir jetzt wiederum die Eingeweide hinzutreten. Der Thorax gewinnt einerseits an Gewicht durch die Brusteingeweide, und die Drehungsmomente werden aus diesem Grunde und durch das Vorschieben des Brustschwerpunktes grösser, andererseits aber wird der Thorax, da er mittelst des Zwerchfells auf den Baucheingeweiden ruht, während diese von dem Becken und den die Bauchhöhle umschliessenden Muskeln getragen werden, von den Baucheingeweiden getragen. Hat also der Thorax in Folge des Vortretens der Schwerlinie des Oberkörpers sich soweit gesenkt, bis der Widerstand der Eingeweide das weitere Sinken seines Schwerpunkts hindert, so hört die weitere Veranlassung zu den Umbiegungen in den Lendenwirbeln auf und zur Aufrechthaltung des Rumpfes ist dann nicht mehr nöthig, dass die Schwerlinien der resp. oberen Rumpftheile durch die betreffenden Wirbelbasen gehen, wofern nur dafür gesorgt ist, dass der Schwerpunkt des belasteten Unterleibes selber durch die Beziehungen zur fest gedachten Hüftaxe vor dem Sinken bewahrt wird. Hiernach darf es uns nicht mehr überraschen, wenn wir die Schwerlinie des Kopfes und Rumpfes bei der aufrechten Stellung meist vor dem Promontorium vorbeigehen sehen, und die Lage desselben, der man bisher in der Mechanik des menschlichen Körpers eine grössere Wichtigkeit beilegen möchte, weil sie die Lage des Gesamtschwerpunktes des Körpers zu bezeichnen geeignet ist, und sie der Verticalen durch die Hüftaxe sehr nahe sich bewegt, verliert dadurch an Bedeutung.

Die Neigungen des Rumpfes nach hinten werden durch den

beim Hinzutritt der Baucheingeweide wachsenden Widerstand der gespannten Bauchmuskeln und den des festen, gegen 2 Linien dicken fibrösen Streifen der Linea alba, an den sie sich anschliessen, beschränkt.

Betreffs der Vergleichung der Formen der Wirbelsäule für einen gegebenen Fall bei Leichen und am lebenden Körper darf man nie vergessen, dass abgesehen von der fehlenden Mitwirkung der Muskelcontraction Verschiedenheiten bestehen müssen, welche daher kommen, dass die Cohäsion und besonders die Elasticitätsverhältnisse im lebenden Körper andere sind wie im todten. Diese Unterschiede ändern in den allgemeinen Betrachtungen nichts, da sie nur die Grösse der Widerstände, also den Grad der Umbiegungen betreffen. Volle Formenübereinstimmungen dürfen daher nicht erwartet werden, aber die Natur und die Bedingungen der Formänderungen bleiben dieselben. Nur so viel mag bemerkt werden, dass die Stabilität beim lebenden Körper jedenfalls grösser ausfallen wird, als im todten Zustande. Der Widerstand, der durch den Zusammenhang der Weichtheile den Beugungen und Streckungen entgegengesetzt wird, wird nämlich bei Lebenden grösser sein wegen der grösseren Festigkeit aller Gewebelemente unter dem Einflusse der Innervation und des Stoffwechsels, der grösseren Starrheit der Gefäße unter dem Blutdruck, der vollkommeneren Elasticität des Muskelgewebes unter dem Einfluss der Lebenswärme, der Begünstigung der hygroscopischen Beschaffenheit des Gallertkerns der Intervertebralscheiben durch die Säftezufuhr u. s. w.

#### 4. Analyse der Wirbelsäulenformen, wie sie bei der aufrechten Stellung des Körpers im Leben beobachtet wird.

Blicken wir nun zurück auf die im zweiten Capitel betrachtete Bedingung des zwanglosen Aufrechtstehens, nämlich dass die Schwerpunkte des Kopfes des Ober- und Unterleibes in der Nähe der durch die Hüftaxe gehende Vertikalebene bleiben sollen, so wird man folgern dürfen, dass wenn man z. B. von irgend einer aufrechten Stellung ausgehend den Kopf etwas vor- oder zurückbewegt, man unbewusst gleichzeitig dem entsprechend auch Aenderungen in der Lage des Brust- und Unterleibsschwerpunktes

vornehmen werde, um diese Bedingung so weit es möglich erfüllt zu erhalten, ja dass man bei starken Kopfbewegungen auch unwillkürlich die Hüftaxe vor- oder zurückziehen werde, dabei die Beckenneigung verändern, und somit schliesslich eine geänderte Aufrechtstellung mit einer entsprechend geänderten Wirbelsäulenform erhalten werde. Aehnliches wird bei Vor- oder Rückbewegungen der Brust, Veränderungen der Lage des Schultergerüstes mit den Armen, bei Einziehung des Bauches u. s. w. stattfinden. Solche Verhältnisse sind es, die wir bei den Untersuchungen an lebenden Individuen in verschiedenen Aufrechtstellungen beobachten, und Aehnliches sahen wir auch bei den Züricher Leichenexperimenten eintreten. Dass die angenäherte Coincidenz der Partialschwerpunkte des Rumpfes in der durch die Hüftaxe gehenden Vertikalebene übrigens nur Bezug hat auf die ungezwungenste Aufrechtstellung, braucht wohl kaum noch hinzugefügt zu werden. Bei anderen Aufrechtstellungen, wo die Muskelthätigkeit in grösserer Stärke mitzuwirken hat, können sich die Partialschwerpunkte erheblich von jener Ebene entfernen, ja mit einem Zwang können wir den Gesammtschwerpunkt des Rumpfes aus ihr heraustreten lassen, wie dies auch geschieht, wenn bei Zurücklehnung das Ligamentum superius das Hintenüberfallen hemmt und damit dann auch wieder die Thätigkeit der Muskeln ausgelöst wird. Auch bei ungezwungenen Stellungen werden daher die Partialschwerpunkte einzelner Rumpftheile ohne Gefährdung der Aufrechterhaltung des ganzen Rumpfes auseinanderfallen können, wenn der Widerstand der Cohäsionskräfte so weit in Wirksamkeit tritt, dass die Weiterbewegung eines Theiles gegen den anderen gehemmt wird, z. B. der Kopf so weit gebeugt wird, dass die Widerstände der vorderen und hinteren Weichtheile, dem Drehungsmoment des Kopfgewichts äquivalent sind.

Zur Illustration des Gesagten wollen wir nun noch die besonderen Verhältnisse vor Augen führen, die sich uns bei der Beobachtung an Lebenden ergeben haben.

Betrachten wir zuerst die Form der Wirbelsäule, wie sie sich bei meinen Versuchspersonen in der ungezwungenen aufrechten Stellung dargeboten hat. In den meisten Fällen zeigte sie mit grosser

Uebereinstimmung die Form Fig. 1, welche mit der Fig. 3 des ersten Theils dieser Abhandlung übereinstimmt, in einem besonderen Fall die Form Fig. 1 a. Nehmen wir die erstere Form als die, wie es schien, regelrechtere, so sehen wir zuerst, dass übereinstimmend mit unseren Voraussetzungen die durch die Hüftaxe gehende Vertikale, welche wir die Trochanterlinie nennen wollen, durch den Atlas geht, also, wenigstens sehr nah, den Kopfschwerpunkt in sich aufnimmt. Die Trochanterlinie trifft dann die Linie der vorderen Fläche der Wirbelkörper in drei Punkten, nämlich: 1) in einem der untersten Hals- oder obersten Brustwirbel, 2) in einem der unteren Brustwirbel, und 3) in dem fünften Lendenwirbel, das Promontorium hinter sich lassend. Die Concavität zwischen dem ersten und zweiten Durchschnittspunkt würde diejenige sein müssen, bei welcher der Schwerpunkt des Brusttheils des Rumpfes in der Trochanterebene liegt, und zwar auch dann, wenn wir den Oberleib uns mit Hinweglassung der Arme denken, weil in der That das vom Atlasgelenk durch die Hüftaxe gehende Loth parallel der Mitte des herabhängenden Armes verlief, also der Schwerpunkt der Arme für sich allein gleichfalls schon in der Trochanterebene lag. Ebenso muss das von der Trochanterlinie abgeschnittene Segment der Lendenwirbelkrümmung uns als dasjenige erscheinen, bei welchem der Schwerpunkt des Unterleibes in oder sehr nahe der Trochanterebene liegt. Wenden wir dieselben Schlüsse auf die Stellung in Fig. 1 a an, so sehen wir wiederum zwar die Trochanterlinie durch den Atlas gehen, also den Kopfschwerpunkt noch in derselben Ebene befindlich, dagegen scheint der erste Durchschnittspunkt etwas tiefer, näher an B2 zu liegen, während sowohl der convexe, wie der concave Theil resp. des Lenden- und Brustwirbeltheils, hinter der Trochanterebene liegend gefunden werden. Wir würden, wenn wir unsere Principien festhalten, daraus schliessen müssen, dass der Schwerpunkt sowohl des Ober- als der des Unterleibes, weil er bei der Ungezwungenheit der Stellung in der Trochanterebene verbleiben musste, sich nach vorn von der Wirbelsäule entfernt habe. In der That waren die ersten Messungen bei ziemlich leerem Zustande der Eingeweide der Versuchsperson, etwa 5 Stunden nach

einem Frühstück, vorgenommen, während die Letzteren einige Stunden nach dem Mittagsessen mit interponirtem Nachmittagsbrot angestellt worden waren, wodurch sich der Gesammtschwerpunkt des Rumpfes nach vorn verschoben hatte. Um zu einer schärferen Vergleichung berechtigt zu sein, mussten daher die zur Vergleichung bestimmten durch Zeichnungen wiedergegebenen Wirbelsäulenformen zu einer und derselben Zeit entnommen werden, und zwar einmal bei annähernd leerem Zustande der Eingeweide, das andere Mal bei ziemlich gefülltem. Es ist daher wohl zu beachten, dass einerseits die zu ersterer Zeit gewonnenen Fig. 1, 2, 3 und andererseits Fig. 1a, 2a, 3a zu einer und derselben Zeit und an einem und demselben Individuum bestimmt wurden.

Betrachten wir nun die Form der vorderen Fläche der Wirbelsäule in der preussischen Militärstellung. Dieselbe zeigte die Form Fig. 2 zu der Zeit, wo bei ungezwungener Stellung die der Fig. 1 sich ergeben hatte, dagegen die Form Fig. 2a zu derjenigen Zeit, wo bei jener Stellung die Fig. 1a gewonnen worden war. Wie Fig. 2 zeigt, liegt der Atlas und somit der Schwerpunkt des Kopfes etwas vor der Trochantere Ebene, gleichzeitig fällt die ganze übrige Vordercurve der Wirbelsäule vor diese Ebene. Es liegt also auch der Schwerpunkt des Oberleibes, abgesehen von dem der Arme und der des Unterleibes, vor dieser Ebene. Dieser Umstand erklärt sich daraus, dass in dieser Stellung die Fersen aneinander geschlossen wurden, welche bei der ungezwungenen eine bequeme Entfernung von einander gehabt hatten. Um der Stabilität das gehörige Maass zu geben, musste die Schwerlinie des gesamten Körpers nach vorn hingeschoben und der breiten Seite der dreieckigen Stützbasis mehr genähert werden, wo jetzt der Schwerpunkt der letzteren gesucht werden musste, während er in der Trapezform der Stützfläche bei der ungezwungenen Stellung mehr zurücklag. Fragen wir nun, wie bei dieser (offenbar gezwungenen) Stellung dem Gewicht des Kopfes, des Ober- und Unterleibes, welche den Rumpf nach vorn zu neigen streben, das Gleichgewicht gehalten wird; so finden wir zuerst, dass die Schultern stark nach hinten gezogen worden sind, denn die Schwerlinie berührt jetzt die vordere Fläche der Schultern, und

lässt den Schwerpunkt beider Arme etwa 10 Cm. weit hinter der Trochanterebebene liegen. Die Arme haben hierbei erstlich einen grösseren Momentenarm wie der Kopf, bei dem er nur etwa 1 Cm. beträgt, und andererseits mehr als das doppelte Gewicht derselben, sie sind also im Stande, nicht bloss dem Kopf, sondern auch einem Theil des übrigen Leibes das Gleichgewicht zu halten. Was etwa noch daran fehlt, den übrigen Rumpf über der Hüftaxe zu balanciren, wird offenbar geleistet durch die Muskeln, welche das Becken in zurückgedrängter Stellung erhalten. In Wirklichkeit fand ich auch nach der gemessenen Kreuzbeinneigung eine Zurückdrehung des Beckens, resp. stärkere Neigung der Conjugata desselben gegen den Horizont um beiläufig  $10^{\circ}$ . Dass in der That die Muskeln bei der militärischen Stellung eine grosse Rolle zu spielen haben, kann wohl kaum einem Zweifel unterliegen. Man erkennt das daraus, dass man bei Exerzierübungen selbst solchen, die sich nur auf Einübung der militärischen Stellung beschränken, bald ermüdet wird, und auch der Soldat das Commando: Röhrt euch, sehnlich erhartt. Ueber die Fig. 2 a brauchen wir kaum noch etwas hinzuzufügen, denn ihre Abweichung von Fig. 2 ist derselben Art, wie die der Fig. 1 a von Fig. 1. Es haben sich nämlich sowohl die Brust- als ganz besonders stark die Lendenwirbelcurven zurückgeschoben. Dass die Lendenwirbelcurve weniger convex erscheint, findet zum Theil wohl darin seinen Grund, dass bei gefülltem Zustande der Eingeweide die für die militärische Stellung geforderte Muskelaction unbequemer wird; in der That war die damit zusammenhängende Drehung des Beckens geringer, der Kreuzbeinwinkel um etwa  $6^{\circ}$  grösser.

Lassen wir jetzt die bisher festgehaltenen Bedingung fallen, dass der Kopf gerade aufgerichtet getragen werde, ohne inzwischen die Aufrichtung des übrigen Rumpfes zu gefährden, d. h. gestatten wir nur dem obersten Theil der Wirbelsäule eine erhebliche Biegung, um den Einfluss zu studiren, den die Verstellung des Schwerpunktes eines einzelnen Rumpftheiles ausübt. Ich bestimmte desshalb die Wirbelsäulenform, indem ich das zur Beobachtung dienende Individuum zuerst in der ungezwungenen Stellung aufrecht stehen liess, und ihm dann aufgab, den Kopf nach vorn zu

neigen, bis er mit möglichster Beibehaltung der übrigen Haltung, die bequemste Stellung gefunden haben würde. Die Aenderung der Kopflage eignet sich offenbar am Besten zur Erzielung hervorstechender Resultate, weil es derjenige Rumpftheil ist, welcher mit der Halswirbelsäule am Leichtesten grössere Excursionen zu machen im Stande ist, ohne grosse Beihilfung der übrigen Wirbelsäule, und weil man mit seinem starken Gewicht ein grosses Kraftmoment zur Verfügung hat. Die gefundene Form ist in Fig. 3 und Fig. 3 a entsprechend den beiden oben unterschiedenen Fällen dargestellt. In Fig. 3 geht das vom Atlas gefällte Loth 4 bis 5 Cm. vor der Trochantere Ebene vorbei. Der Brustwirbeltheil tritt gegen Fig. 1 sehr stark hinter diese Ebene zurück, der Lendenwirbeltheil liegt noch vor dieser Ebene, ist aber doch auch um etwas zurückgetreten. Wir sehen nun in der Vergleichung mit Fig. 1, dass der Kopfschwerpunkt, welcher jetzt offenbar noch vor dem Atlasgelenk liegt, einen Momentenarm von mehr als 5 Cm. nach vorn hat. Der Schwerpunkt des Oberleibes ist stark zurückgetreten, nur um Weniges der des Unterleibes. Die Arme werden als ziemlich neutral angesehen werden können, weil der obere Theil zu meist vor, der untere hinter der Trochantere Ebene lag. Die Krümmungen der Wirbelsäule erscheinen bedeutend verstärkt und das Kopfgewicht compensirt durch den Oberleib und, wenn auch in etwas geringerem Grade, durch den Unterleib. An der Wirbelsäulenform in der Fig. 3 a, die den Verhältnissen von Fig. 1 a entspricht, sehen wir, dass die Brustwirbel ebenso wie beim Uebergange von Fig. 1 auf 3 zurückgetreten sind, aber auffallend geringer z. B. in der Nähe des Scheitels, bei B6 um stark 1 Cm. weniger, während der Lendenwirbeltheil keine so grosse Lagenveränderung erfahren hat, dass man die kleine Differenz nicht auf Beobachtungsfehler zurückführen könnte. Den Grund dieser Abweichung finden wir darin, dass in dem Zustande der Eingeweidefüllung der Schwerpunkt des Unterleibes sich nach vorn hin entfernt hat, während der des Kopfes nicht alterirt worden war. Der Kopf wird also, weil der Halswirbeltheil schon in Stellung Fig. 1 a eine mehr vorgeschobene Lage, wie in Fig. 1 hatte, bei der Vorbeugung mit seinem Schwerpunkt weniger stark vor der

Schwerlinie des übrigen Rumpfes hervortreten, wie im Falle des nüchternen Zustandes, mithin wird eine Compensirung des Kopfgewichts sich mit geringeren Mitteln ausführen lassen. Schon der Oberleib hatte, wie wir sehen, ausgereicht, durch sein Zurückweichen dem Kopfgewicht das Gegengewicht zu halten, und es war auch nur ein geringeres Zurückweichen nöthig, so dass es hier nur 1 Cm. betrug, während es im Falle des Ueberganges von Fig. 1 zu Fig. 3 mehr als  $1\frac{1}{2}$  Cm. betrug. Uebrigens schien auch ein geringes Zurückweichen des Armschwerpunktes in Fig. 3a eingetreten zu sein. Die Aenderung, welche die Schwerpunktslage des Rumpfes durch die Eingeweidefüllung erfahren hat, bringt zugleich eine Vorbewegung des Gesammtschwerpunktes mit sich und dies ist vermutlich der Grund, warum die Versuchsperson in Fig. 3a eine ganz geringe, kaum merkliche Beugestellung der Gelenke der unteren Extremität mit Vorschiebung der Knieen annahm, um die Schwerlinie des ganzen Körpers wieder über den Schwerpunkt der Fussstützfläche zurückzuführen. Der Kreuzbeinwinkel wurde dabei um circa  $10^{\circ}$  grösser.

Um nun noch den Einfluss des Vorstreckens der Arme zur Anschauung zu bringen, gab ich der Versuchsperson auf, von der ungezwungenen Stellung ausgehend die Arme horizontal vorzustrecken und so zu erhalten. Hierbei wurde die Wirbelsäulenform Fig. 4 gewonnen. Es war dies offenbar eine gezwungene Stellung. Der Obertheil des Rumpfes wurde zurückgelehnt, der Atlas trat  $3\frac{1}{2}$  Cm. hinter die Trochanterebene, das Hüftgelenk somit in's Extrem der Streckung. In Folge der eintretenden Mitwirkung der Bänder durch Spannung des Ligam. super. wurde es möglich gemacht, dass die Schwerlinie des Gesammttrumpfes hinter die Hüftaxe fallen konnte, es ergab sich dadurch eine grosse Stabilität ohne Muskelanstrengung, weil das Hintenüberfallen durch die Bänderspannung gehindert, das Vornüberfallen dadurch erschwert wurde, dass ein solches nicht ohne Hebung des Rumpfschwerpunktes erfolgen konnte. Dieser grossen Stabilität wegen brachte auch die zur Vorstreckung der Arme noch hinzutretende Vorneigung des Kopfes nur noch geringe Veränderungen in der Lage und Form der Wirbelsäule hervor. Doch trat eine compensirende Rückbewegung des Scheitel-

punktes der Brustwirbelkrümmung ganz in demselben Sinne, wie im Fall von Fig. 3 u. 3a ein, zugleich mit einer Vorschiebung der Hüftaxe bei Verkleinerung des Kreuzbeinwinkels um etwa  $3^{\circ}$ , offenbar herbeigeführt, durch eine stärkere Anspannung der Schenkelmuskeln, die als merklich von der Versuchsperson bezeichnet wurde.

##### 5. Das freie Aufrechtsitzen.

Bei der Betrachtung der aufrechten Stellung liegt die Frage zu nahe, wie sich die Verhältnisse bei freiem Aufrechtsitzen gestalten, und deshalb mag diese noch einer kurzen Erörterung unterworfen werden. Bei der Vor- und Rückbewegung des Rumpfes während des Sitzens dreht sich der Rumpf nicht mehr um die Hüftaxe, sondern er dreht sich mit der Hüftaxe zugleich um eine Verbindungslinie der beiden Sitzknorren. Weil aber die Sitzknorren eine ausgedehnte Unterfläche haben, so existiren eine unendliche Menge paralleler solcher Verbindungslinien, und es hängt von der Willkür des Sitzenden ab, mit welcher dieser Verbindungslinien er die Aufstützung vorzugsweise hervorbringen will. Von diesen Hauptverbindungslinien wird beim Sitzen auf einem harten Sessel die tiefste die festeste sein, weil unter ihr die Weichteile am stärksten comprimirt sind, also ihr Niedersinken den grössten Widerstand findet. Sie wird als festeste Linie die Drehaxe bilden, die aber bei weitem nicht so frei ist, wie die Hüftaxe beim Aufrechtstehen, weil die benachbarten parallelen Verbindungslinien gleichzeitig einen, wenn auch geringeren, die nächsten einen fast ebenso grossen Widerstand finden. Durch willkürliche Neigung des Rumpfes können wir die eine oder die andere Verbindungslinie in die tiefste Lage bringen, und damit zur momentanen Drehungsachse machen. Wir haben hiernach festzuhalten: 1) dass wir die Drehungsaxe innerhalb gewisser Grenzen willkürlich wechseln können, 2) dass die Drehung um diese Achse eine soweit erschwerte ist, um der Stellung des Rumpfes eine grosse Stabilität zu verleihen. Da, wie gesagt worden, die tiefste Verbindungslinie der Sitzknorren zwar als Hauptstützlinie zu gelten hat, in der That aber bei der Flachheit der Sitzknorren die zunächstliegenden parallelen Verbindungslinien fast ebenso tief liegen,

erhalten wir gewissermassen statt einer Stützlinie eine Stützfläche, womit natürlich die Stabilität einen ausserordentlichen Zuwachs erhält. Die Drehung nach vorn findet bald eine natürliche Grenze dadurch, dass sie die Hüftaxe nach vorn hindreht, und dabei den Oberschenkel vorschieben muss, während diese Vorschreibung in steigendem Grade erschwert wird, theils durch ihr Aufruhen auf dem Sessel, theils durch ihre Verbindung mit den aufstehenden Füßen. Die Rückbeugung ist ersichtlich leichter, und findet eine Grenze nur dadurch, dass bei Erreichung eines bestimmten Grades ein Ueberschlagen nach hinten, also eine vollkommene Störung des Gleichgewichts eintritt. Bei der Beugung nach vorn bekommen wir deshalb eine Vermehrung der Stabilität, bei der Beugung nach hinten eine Verminderung. Während die Rolle, welche beim aufrechten Stehen die Hüftaxe spielt, beim Sitzen von der Verbindungsline zweier Punkte der Sitzknorren (wir wollen solche die Sitzknorrenaxe nennen) übernommen wird, tritt an die Stelle der von den Füßen umschriebenen Stützfläche hier die Fläche des Sessels. Die Hüftaxe in dem einen, die Sitzknorrenaxe in dem anderen Fall hat die Function, den Rumpf zu tragen, während die betreffende Axe selbst in dem einen Fall über der Fussstützfläche, in dem andern Fall über der Sesselfläche getragen wird. Beim Stehen war die Erhaltung des Gesamtschwerpunktes über der Fussstützfläche eine Bedingung, dass der ganze Körper sammt der Stützaxe nicht umfalle. Da beim Sitzen die Drehaxe, weil sie unmittelbar auf der Stützfläche aufruht, nicht fallen kann, so ist der Körper als Gesamtheit auch nicht mehr dem Fallen ausgesetzt, folglich haben wir uns nicht mehr um den Gesamtschwerpunkt zu kümmern, und es treten nur Drehungen des Rumpfes um die Sitzknorrenaxe in Frage. Wir kommen natürlich hierbei auf dieselben Bedingungen des Aufrechthaltens, indem nur diejenigen Modificationen eintreten, welche erstlich von der grösseren Stabilität des Gleichgewichts um die Drehaxe, zweitens durch die innerhalb gewisser Grenzen stattfindende Willkür in der Wahl dieser Axen hervorgebracht werden, und drittens durch die mehr oder weniger vollständige Unbeweglichkeit der auf dem Sessel aufruhenden Weichtheile des Rumpfes.

Haben wir eine bestimmte Wahl der Axen getroffen, womit der Kreuzbeinwinkel eine bestimmte Grösse angenommen hat, so ist das Modificirende blos die grössere Stabilität, d. h. wir können kleine, die Partialschwerpunktstellungen ändernde Bewegungen vornehmen, und dadurch die Wirbelsäulenform ein Weniges abändern, ohne dass die aufrechte Stellung verloren geht, und ohne dass selbst die Muskelthätigkeit merklich mehr beansprucht wird. Da die Stabilität bei der Vorneigung nach vorn wächst, so werden solche Abänderungen grösser sein dürfen, wenn man eine mehr vorliegende Verbindungsline der Sitzknorren als Drehaxe gewählt hat, also wenn der Kreuzbeinwinkel verkleinert resp. die Beckenneigung vergrössert wird. Die zweite Modification, welche in der Willkür bei der Wahl der Drehaxe ihre Ursache hat, und die dazu beiträgt, dass wir, wie eben bemerkt, die Stabilität vergrössern können, hat zur Folge, dass die Form der Wirbelsäule eine sehr variable werden kann, selbst bei ungezwungener Aufrechthaltung. Die dritte Modification endlich bewirkt, dass der aufruhende Theil des Unterleibes wenig oder gar nicht an einer Drehung um die Sitzknorrenaxe Theil nehmen kann, dass also der Schwerpunkt des Unterleibes in seiner Lage wenig oder gar nicht beschränkt wird, indem derselbe nur die Bedingung zu erfüllen hat, dass er über der weiten Fläche bleibe, in welcher der Sessel in Contact mit dem Leibe ist. Es wird also namentlich nur die Stellung der Schwerpunkte des Oberleibes und des Kopfes in Betracht kommen, vornehmlich, sofern sie Biegungen in dem oberen Theil der Wirbelsäule erzeugen, und wenig Einfluss auf die Biegungen des Lendenwirbeltheils haben, der namentlich in seinem unteren Theil durch die Beckenlage fest bestimmt ist.

Ich habe nun die Wirbelsäulenform beim bequemen Aufrechtsitzen an zwei Personen genauer bestimmt, dieselben sind Fig. 5 und 6 dargestellt. Die Fig. 5 ist derjenigen Person entnommen, von der ich auch alle übrigen, von Lebenden durch Zeichnung in dieser Abhandlung wiedergegebenen, Wirbelsäulenformen gewonnen habe. Die Fig. 6 röhrt von der Militärperson her, an der ich zuerst die normale militärische Stellung beobachtet habe, und zwar erhielt ich dieselbe Form, als ich die Messung an einem anderen

Tag wiederholte. Die so constant bleibende grosse Verschiedenheit von Fig. 5 und 6 hatte mich Anfangs etwas stutzig gemacht, besonders darum, weil ich beiden Versuchspersonen aufgegeben hatte, sich mit ganzer Sitzfläche auf den Sessel zu setzen und dies auch in der That bei beiden geschehen war, ebenso wie auch der Kopf bei beiden Versuchspersonen vollkommen aufrecht getragen wurde. Bald aber wurde deutlich, zumal beim Vergleich dieser beiden Sitzstellungen auch mit der zwischen ihnen etwa die Mitte haltenden Leichensitzstellung, dass die erste Person eine weit nach vorn liegende, die zweite eine weit nach hinten liegende Sitzknorrenlinie als Axe gewählt hatte. Dies bestätigte sich denn auch durch Messung des Kreuzbeinneigungswinkels, der im Falle von Fig. 5  $79^{\circ}$ , in dem von Fig. 6  $112^{\circ}$  betrug. Als ich dann die erste Versuchsperson noch einmal sitzen liess, und zwar unter dem grossen Kreuzbeinneigungswinkel von beiläufig  $107^{\circ}$ , fand sich auch bei ihr fast genau die Form von Fig. 6, nämlich Fig. 5', dargestellt. Bei der zu Fig. 5 gehörigen Stellung wurde wegen der verhältnissmässig grossen Beckenneigung das untere Ende des beweglichen Wirbelsäulenteils stark nach vorn gerichtet, es musste folglich der Schwerpunkt des Kopfes und Oberleibs nach rückwärts bewegt werden, um ihre Schwerpunkte nahe bis über die Drehaxe zurückzuführen. Es wurde damit die Form derjenigen des aufrechten Stehens sehr ähnlich. Bei der zu Fig. 6 und 5' gehörigen Stellung hat dagegen das Becken eine Lage angenommen, durch welche jener untere Theil der Wirbelsäule eine nach hinten gehende Richtung erhält. Die vertikale Querebene des Atlas verlief vor der vorderen Bauchwand. Der Schwerpunkt des Kopfes konnte mithin nicht mehr mit dem des Rumpfes in einer Vertikalebene liegen. Ersterer lag, wie die Beobachtung mittelst des Lothes zeigte, fast senkrecht über der Sitzknorrenaxe, in einer vertikalen Linie, die bei der actuellen Beckenlage auch nahe durch die Hüftaxe ging. Wie schon das Leichenexperiment gezeigt hat, erhält bei einer ähnlich geringen Beckenneigung der Rumpf selbst bei feststehendem Becken die Neigung nach hinten überzuschlagen, und wird die Resistenz der Intervertebralscheiben des unteren Theiles der Wirbelsäule dabei bis zum Maximum gesteigert, so dass dieselbe

einen nahezu soliden Hebelarm mit dem Becken bildet. Zu derselben Zeit, wo diese Sitzstellung gewonnen wurde, lag die vordere Fläche des 9. Brustwirbels in der ungezwungenen aufrecht stehenden Stellung etwa 1 Cm. hinter der Trochanterlinie,  $2\frac{1}{2}$  Cm. tiefer schnitt diese die Linie der vorderen Fläche der Wirbelkörper, und verblieb bis dicht über dem Promontorium hinter derselben. Da wir nach unseren Prinzipien bei der Ungezwungenheit der Stellung den Schwerpunkt des ganzen Rumpfes, der ungefähr auf der Höhe des 9. Brustwirbels liegt, nahe der Trochanterebene zu suchen haben, so müssen wir seine Lage auch in unserer zur selben Zeit gewonnenen Sitzstellung in ähnlicher Entfernung von der vorderen Wirbelkörperlinie finden, und trifft die Schwerlinie des Rumpfes danach hier die obere Endfläche des Kreuzbeines als Basis des beweglichen Theiles der Wirbelsäule, während die Vertikale des Unterleibsschwerpunktes, der ungefähr auf der Höhe zwischen dem 1. und 5. Lendenwirbel zu suchen ist, und in der ungezwungenen Aufrechtstellung mehr als 2 Cm. hinter der vorderen Wirbelsäulenlinie lag, in unserer Sitzstellung jedenfalls hinter jene Basis herabfällt. Die hierdurch in den unteren und mittleren Theilen des Rumpfes obwaltenden links drehenden Kraftmomente mussten mithin durch die Vorschubung des Kopfs- und oberen Rumpf-Gewichts als rechts drehende compensirt werden, wodurch die in der Richtung nach hinten sehr labile Rumpfaufstellung Stabilität erhielt.

#### Schlussbetrachtung.

Die Aufgabe, welche wir uns am Eingange dieser Studien stellten, bestand vorzugsweise darin, den Anteil zu bestimmen, welcher den zur Aufrechterhaltung der Wirbelsäule mitwirkenden Factoren bei der Erzeugung und Erhaltung verschiedener Aufrechtsstellungen zufalle. — Wir haben diese Verhältnisse in verschiedenen Richtungen verfolgt. Sehen wir nun zu, welche Resultate wir aus den vorstehenden Untersuchungen im Allgemeinen rücksichtlich der Wirksamkeit der verschiedenen Factoren für die Erzeugung der im Leben beobachteten Gestalt der Wirbelsäule zu ziehen berechtigt sind.

Wir erkannten die Gestalt der Wirbelsäule im Leben als ein

Product aus der anatomischen Form der einzelnen Glieder der Wirbelsäule, den Cohäsionskräften der diese Glieder untereinander und mit der Gesamtheit der Körpermasse verbindenden Weichtheile, der Richtung der Schwere und der Muskelthätigkeit.

1) Was die anatomische Form der einzelnen Glieder anbetrifft, so sehen wir, dass die Krümmungen der Wirbelsäule unter den verschiedensten Verhältnissen ihren Charakter im Allgemeinen bewahren; der Brusttheil ist stets concav, der Hals- und Lendenwirbeltheil bleiben stets mehr oder weniger convex, nur die Stellen, wo die Concavitäten in die Convexitäten übergehen, können sich etwas mehr ändern. Diese Constanz in der Gestalt der Säule ist offenbar ein Product der anatomischen Form der einzelnen Glieder derselben. Auf dieselbe durch alle Einzelheiten speciell einzugehn, haben wir keine Veranlassung gehabt, da wir sie als bekannt voraussetzen durften. Wir haben nur hier und da Einzelnes, was für uns von besonderer Wichtigkeit war, hervorgehoben, besonders aber den bestimmenden Einfluss des Brustkorbes auf die Gestalt der Wirbelsäule und die Auffassung desselben als eines integrirenden Theiles der Wirbelsäule hervorzuheben Anlass gehabt. — Es wird besonderen anatomischen Untersuchungen vorbehalten bleiben müssen, darüber zu entscheiden, wie weit der ursprüngliche Bildungstypus des fötalen Lebens bei der physiologischen Umbildung, welche er mit dem vorschreitenden Wachsthum erfährt, durch dieselben Ursachen beeinflusst werde, durch welche wir die Form der einzelnen Abschnitte, wie die Gestalt der ganzen Wirbelsäule conservirt und zeitweilig abgeändert werden sehen. Dass ein solcher Einfluss stattfindet, erscheint unzweifelhaft. Wir werden weiterhin noch etwas näher hierauf eingehen.

2) Was den Einfluss der Cohäsionskräfte der Weichtheile betrifft, durch welche die einzelnen Glieder der Wirbelsäule untereinander und mit der Gesamtheit der Körpermasse in Verbindung stehen, so ist auch dieser offenbar ein die Form der Wirbelsäule conservirender, insofern durch denselben den Formänderungen ein gewisser Widerstand entgegengesetzt wird, und wie wir mehrfach ausgeführt haben, dadurch die Stabilität in Stellungen vermehrt wird, in denen sonst das Gleichgewicht labil gewesen sein würde.

3) Der Einfluss der Schwere ist weitläufig erörtert, und dieselbe als dasjenige Element erkannt worden, welches die Formänderungen der Wirbelsäule hervorbringt. Es hat sich auf das entschiedenste herausgestellt, dass eine Lagenänderung des Schwerpunktes eines einzelnen Rumpftheiles auf die ganze Form der Wirbelsäule wirkt, und zu einer anderen Vertheilung der übrigen Partialschwerpunkte führt. Namentlich ist wegen der grösseren Beweglichkeit der Kopf ein besonders einflussreicher Körpertheil, und es werden daher selbst anscheinend unbedeutende Aenderungen im Gewicht oder in der Vertheilung desselben nicht unbedeutenswerthe Wirkungen zu äussern vermögen, wenn sie lange Zeit hindurch andauern, namentlich in den Fällen, wo das statische Moment des Kopfes eine gewisse Mächtigkeit bekommt. Letzteres ist, wie wohl zu beachten, bei fast allen Arbeitsstellungen mehr oder weniger der Fall. Als ein zweiter Körpertheil von besonders hervorstechendem Einfluss ist das Schultergerüst anzusprechen, und auch bei diesem zu beachten, dass er bei der Vorbewegung der Arme, die mit fast allen Beschäftigungsarten verknüpft ist, sich vorzugsweise geltend macht. Wie wir ferner beim Unterleibe in seiner grösseren oder geringerer Anfüllung ein einflussreiches Moment erkannt haben, so werden wir auch Einflüsse verschiedener Art bei grösserer oder geringerer Wölbung des Thorax, seiner stärkeren oder geringeren Anfüllung mit Luft vorauszusetzen haben.

4) Was endlich die Muskelthätigkeit betrifft, so ist deren Einfluss auf die Formbestimmung bei Erzielung von Ruhestellungen nur der, die Schwerpunkte in eine Lage zu führen, in welcher das Gleichgewicht möglichst stabil wird, so dass ihr selbst zur Erhaltung der Stellung möglichst wenig zu thun übrig bleibt. Denken wir daran, dass selbst in den Leichenexperimenten nur ein Minimum von Kraftaufwand nötig war, um den einmal aufgerichteten Rumpf im Gleichgewicht zu erhalten, dass diese Kraft durch den Finger eines Assistenten repräsentirt, wesentlich nur als Wächter den Atlas vor Störungen seiner Gleichgewichtslage zu beschirmen brauchte, so haben wir ein deutliches Bild von der Muskelthätigkeit im Leben. Da sich uns sogar an der Leiche die permanente Unterstützung durch Muskelthätigkeit als unnötig er-

wiesen hat, so fehlt alle Berechtigung, im Leben eine solche für die Aufrechthaltung des Rumpfes anzunehmen, wo dieser Wächter durch das wachende Gehirn repräsentirt wird, und dieser durch die Schwerewirkungen und die Cohäsionskräfte in so grossem Maasse bei seiner Aufgabe unterstützt wird, dass er sich einer gewissen Sorglosigkeit für die Aufrechterhaltung selbst seines Schilderhauses überlassen darf.

Bei der Gleichgewichtslage dieses Schilderhauses — des Kopfes — über der Drehaxe des Atlasgelenkes sehen wir nämlich auch ganz dieselben Momente obwalten, welche sich bei dem Hüftgelenk als solche erwiesen haben, die der Richtung der Resultirenden aus den die Gleichgewichtslage erhaltenden Kräften gestatten, sich innerhalb gewisser Grenzen von der Drehaxe zu entfernen, ohne dass active Muskelcontractionen nothwendig sind; nur hier noch in höherem Maasse. Denn einerseits verleiht die Gestalt der sich über einander verschiebenden Gelenkflächen des Atlas und des Hinterhauptes der Gleichgewichtslage des Kopfes ohnehin schon eine grössere Stabilität, andererseits sind die Cohäsionskräfte der das Gelenk umlagernden Weichtheile durch das hier ganz besonders auffallende Uebergewicht der Fasermenge der Streckmuskeln über die der Beugemuskeln in entsprechend grösserem Maasse wirksam, zumal ein verhältnissmässig langer Momentenarm der Wirkung der Elasticität der Nackenmuskeln sehr zu Gute kommt, und der Schwerpunkt des Kopfes nach meinen Untersuchungen noch etwas tiefer als auf der Mitte der Höhe vom Atlasgelenk zum Scheitel liegt, mithin seine Schwere ein nur geringes Moment hat.

Es hat somit die vitale Muskelcontraction vor allen Dingen nur dahin zu wirken, die Stellungsveränderungen einzuleiten und momentan für die Cohäsionskräfte einzutreten, wo diese nicht ausreichen. Es wird dies freilich im Leben, wo selten eine so vollständig symmetrische Aufstellung des Körpers stattfindet, wie wir sie hier voraussetzen, häufiger nothwendig werden, um den Störungen des Gleichgewichts entgegen zu wirken; diese Mitwirkung der vitalen Muskelcontraction wird dann aber besonders die Aufgabe haben, den Schwerpunkt der einzelnen Körpertheile so zu

verlegen, dass die Verstellungen der einen durch die der anderen compensirt, und alle so getragen werden, dass sie möglichst unterstützt und die Partialschwerpunkte in einem Gesammtschwerpunkt vereinigt der Art auf der Stützfläche ruhen, dass für das Festhalten einer gegebenen Stellung nur das geringste Maass von Muskelkraft mitzuwirken hat. Ist eine Ruhestellung des Rumpfes gewonnen, so wird dann die Erhaltung derselben von den Muskeln zum grossen Theil wenigstens übertragen auf den Widerstand, welchen die Cohäsion der Weichtheile den Bewegungen entgegengesetzt, und unter diesen auf die Baucheingeweide, welche durch ihre Stützung des Thorax dessen Bewegung beschränken. — Auf diese Weise ist der schliessliche Effekt der Muskelthätigkeit bei der Erhaltung bestimmter Körperstellungen die Erfüllung der Aufgabe, sich ihre eigene Arbeit möglichst zu erleichtern, und die physikalischen Kräfte in einer den wechselnden Lebensaufgaben des Organismus entsprechenden Weise zur Geltung kommen zu lassen.

Für die Vertheilung der unentbehrlichen Mitwirkung der Muskeln und das abwechselnde und daher wenig ermüdende Spiel der verschiedenen Gruppen und Faserzüge bei der Aufrechterhaltung des Rumpfes ist es aber zugleich von erheblicher Wichtigkeit, dass die Baucheingeweide als Stützen der Wirbelsäule und des Thorax eintreten, denn es gewinnen dadurch die Bauchmuskeln, indem sie den Widerstand der Eingeweide gegen die Vorneigung der Wirbelsäule und des Thorax vermehren, eine die Thätigkeit der Rückgratstrekker wesentlich unterstützende Wirkung.

Um die stützende Wirkung der Baucheingeweide zu ermöglichen, war es nothwendiges Postulat, dass die Brustwirbel einen nach vorn concaven Bogen bilden, und die Schwerlinie vor denselben herabfiele, denn andernfalls würden sie mit dem Thorax von den Eingeweiden abgehoben werden, mithin nicht auf denselben ruhen können. Eine einseitig nach vorn concave Krümmung der ganzen Wirbelsäule würde sich nicht damit vertragen, dass der Rumpfsschwerpunkt nahezu in einer Vertikalen mit dem des Kopfes bleibt. Ersterer würde damit nach hinten zurückgedrängt werden, und somit erscheint die S-Form der Wirbelsäule als eine

physikalisch nothwendig begründete. Denn eine einseitig nach vorn convexe Krümmung würde dieselben und noch andere, namentlich die Elasticität der Säule beeinträchtigende und die Raumverhältnisse der von ihr begrenzten Körperhöhlen beschränkende Inconvenienzen mit sich führen, und noch unverträglicher mit der Natur der Verhältnisse würde eine vollkommen gerade Wirbelsäule sein, weil die Schwerlinie des Kopfes und die des Rumpfes bei jeder Stellungsveränderung auseinander fallen müssten.

Wir haben oben angedeutet, dass die Umbildung der Wirbelsäule aus der fötalen Gestalt in die Gestalt des erwachsenen Zustandes durch dieselben Ursachen beeinflusst werden müsse, welche die wechselnden Abänderungen hervorrufen und beschränken. Von den Krümmungen ist es besonders die concave des Brustwirbeltheils, welche schon im Fötalleben durch die Lage im Uterus eingeleitet wird, und bei ihrer Abhängigkeit von dem Zusammenhange mit dem Brustkorbe unter der Mitwirkung des Athmungsprozesses am frühesten sich consolidiren wird. Die Convexität der Halswirbelsäule, namentlich in ihrem mittleren beweglicheren Theile, wird erst dann anfangen, sich deutlicher auszusprechen, wenn das Kind beginnt, den Kopf aufrecht zu halten, indem das Kopfgewicht unter der noch sehr grossen Biegsamkeit der Skelettheile die spätere Entwicklung hervorzubringen geeignet ist. Die schon bei Neugeborenen angedeutete Convexität des Lendenwirbeltheils muss unter dem Einfluss des Gewichts des Kopfes und Oberleibes sich stärker ausprägen. Es wird dieser Einfluss dann anfangen, sich geltend zu machen, wenn das Kind zu stehen beginnt, indem es dabei den Unterleibsschwerpunkt nach der Hüftaxe hinbewegen muss, in welcher Lage bei der Aufrechtstellung die Lendenwirbel vor den Brustwirbeln stärker hervortreten. Hierzu kommen nun mit vorschreitendem Alter die Beschäftigungen, bei denen vorzugsweise eine Vorbewegung des Kopfes und Schultergerüstes mit den Armen in Anwendung kommt. Die dadurch vortretenden Partialschwerpunkte bedingen dann ein compensirendes Zurücktreten vorzugsweise des Brustsegments der Wirbelsäule.

## Erklärung der Abbildungen.

## Tafel X.

A T bezeichnet die aus dem Atlasgelenk gefällte Verticale, wenn sie zugleich durch die Hüftaxe geht: Trochanterlinie. TT Die vor oder hinter der aus dem Atlasgelenk gefällten Verticalen verlaufende Trochanterlinie. AS Die vom Atlasgelenk durch die Sitzknorrenaxe gehende Verticale.

Fig. 1. Profil-Projection der vorderen Fläche der Wirbelsäule bei der ungezwungenen Aufrechtstellung im Leben bei annähernd leerem Zustande des Darmkanals. ad S. 240.

Fig. 1. a. Profil-Projection der vorderen Fläche der Wirbelsäule desselben Individuums bei gefülltem Zustande des Darmkanals. ad S. 240.

Fig. 2. Profil-Projection der vorderen Fläche der Wirbelsäule desselben Individuums in der preussischen Militäristellung unter den Verhältnissen von Fig. 1. ad S. 241.

Fig. 2 a. Profil-Projection der vorderen Fläche der Wirbelsäule desselben Individuums in der preussischen Militäristellung unter den Verhältnissen von Fig. 1. a. ad S. 242.

Fig. 3. Profil-Projection der vorderen Fläche der Wirbelsäule desselben Individuums bei vorgeneigtem Kopf unter den Verhältnissen von Fig. 1. ad S. 243.

Fig. 3. a. Profil-Projection der vorderen Fläche der Wirbelsäule desselben Individuums bei vorgeneigtem Kopf unter den Verhältnissen von Fig. 1. a. ad S. 243.

Fig. 4. Profil-Projection der vorderen Fläche der Wirbelsäule desselben Individuums bei horizontal vorgestreckten Armen. ad S. 244.

Fig. 5. Profil-Projection der vorderen Fläche der Wirbelsäule desselben Individuums in frei aufrecht sitzender Stellung unter dem Kreuzbeinwinkel von  $76^\circ$ . ad S. 247.

Fig. 5'. Profil-Projection der vorderen Fläche der Wirbelsäule desselben Individuums in frei aufrecht sitzender Stellung unter dem Kreuzbeinwinkel von  $107^\circ$ . ad S. 248.

Fig. 6. Profil-Projection der vorderen Fläche der Wirbelsäule eines anderen Individuums in frei aufrecht sitzender Stellung unter dem Kreuzbeinwinkel von  $112^\circ$ . ad S. 247.

