

Ueber die Kniebeugung in dem abstossenden Beine
und über die Pendelung des schwingenden Beines
im gewöhnlichen Gange.

(Elfter Beitrag zur Mechanik des menschlichen Knochengerüsts.)

Von

HERMANN MEYER,
Professor in Zürich.

(Hierzu Tafel I.)

In der bekannten Arbeit der Brüder Weber über die Mechanik der menschlichen Gebwerkzeuge wird dem in einem Schritte hinteren Beine eine stossende Thätigkeit für den Zweck der Vorwärtsbewegung zugesprochen und es wird diese darin gefunden, dass in diesem Beine zuerst eine Streckbewegung im Kniegelenke und dann eine solche¹⁾ im Fussgelenke ausgeführt werde, oder auch darin, dass diese beiden Bewegungen gleichzeitig zu Stande kommen. — Dass eine Verlängerung des hinteren Beines für Ausführung der Gehbewegung notwendig ist, ist keinem Zweifel unterworfen, und ebenso wenig, dass diese in der bezeichneten Weise zu Stande kommen kann. — Eine andere Frage ist es dagegen, ob die von den Brüdern Weber geschilderte Action des hinteren Beines in dem gewöhnlichen Gange auch ausgeführt zu werden pflegt;

1) Unter Streckung des Fusses verstehe ich hier und in dem Folgenden stets die Vergrösserung des Winkels zwischen Fussrücken und Vorderseite des Unterschenkels.

und diese Frage ist um so mehr gerechtfertigt als die genannten Forscher sich die Untersuchung des gewöhnlichen Ganges als Hauptziel gesteckt haben. — Die Beobachtung von Individuen, welche ungezwungen gehen, lässt uns nun aber eine solche allgemeine Streckung des Beines niemals erkennen, sondern wir finden im Gegentheil die Action des hinteren Beines der Art, dass in demselben eine Kniebeugung wahrgenommen wird, verbunden mit einer Erhebung der Ferse über den Boden; und diese Action ist so ganz allgemein, dass sich die Meinung aufdrängen muss, es sei dieselbe in dem Mechanismus der unteren Extremität sehr wohl begründet. Ich stelle mir deshalb in dem Folgenden die Aufgabe die Gründe zu ermitteln, welche zu der vorzugsweisen Anwendung der bezeichneten Action der Beinarticulationen in dem gewöhnlichen Gange führen müssen.

Gehen wir für diese Untersuchung von derjenigen Stellung aus, welche unmittelbar vor der Ablösung des nach hinten gerichteten Beines wahrgenommen wird; sie sei „Schrittstellung“ benannt. Dieselbe besitzt im Allgemeinen folgende Gestaltung:

das hintere Bein ist in seiner Gesamtheit nach hinten gestellt und berührt mit dem Metatarsusköpfchen der grossen Zehe den Boden; — das vordere Bein steht als Ganzes mehr oder weniger senkrecht und ist dabei in sich in einem beliebigen Grade gebeugt; — der Rumpf ist als Ganzes senkrecht auf die Hüftaxe gestellt; — die Schwerlinie falle, grösserer Einfachheit wegen, bereits in das Knöchelgelenk des vorderen (ruhenden) Fusses, und zwar aus dem Hüftgelenke.

Wie verhält sich in dieser Stellung das in dem Rumpfe eingeschlossene Knochengestell?

Ich habe bereits bei früherer Gelegenheit¹⁾ gezeigt, dass wir

1) Die Beckenneigung. — Dieses Archiv 1861. S. 137 ff.

in jeder ruhenden aufrechten Stellung uns in dem Maximum der Streckung zwischen dem Becken und dem Femur befinden, und dass demnach in der aufrecht stehenden Haltung eine Rückwärtsbewegung des Femur in dem Hüftgelenke nicht mehr möglich ist. Die Erfahrung spricht zwar scheinbar dagegen indem wir in jeder aufrechten Stellung unter Beibehaltung der aufrechten Haltung des Rumpfes im Stande sind ein Bein rückwärts zu stellen. Diese Bewegung ist indessen keine einfache, am wenigsten eine solche in dem Hüftgelenke des bewegten Beines. Sie kommt vielmehr, wenn beispielsweise das rechte Bein das nach hinten gesetzte ist, durch eine Beugebewegung im linken Hüftgelenke zu Stande. Diese Bewegung neigt das ganze Becken nach vorne und damit wird das durch Muskelaction in der rechten Hüfte festgehaltene rechte Bein nach hinten aufgehoben und die Wirbelsäule nach vorne gesenkt; — die letztere Wirkung der bezeichneten Beugebewegung bedingt nun aber eine wesentliche Störung der aufrechten Haltung des Rumpfes und diese letztere muss sodann durch eine Haltungscorrection wieder hergestellt werden, welche in einer starken Einknickung der Lendenwirbelsäule besteht. — Beide Bewegungen (Hüftbeugung und Lendenwirbeleinknickung) geschehen indessen, wenn man das Bein nach hinten aufhebt, gleichzeitig, indem der *m. sacrolumbalis* für sich allein schon im Stande ist, beide auszuführen, indem er das Kreuzbein hebt und die Brustwirbelsäule hinabzieht.

In der Schrittstellung haben wir aber nun eine solche Hebung des Beines nach hinten, nur dass das nach hinten gehobene Bein mit der Fussspitze noch den Boden berührt, weil das vordere ruhende Bein durch Beugungen verkürzt ist. In der Schrittstellung ist daher auch mit Nothwendigkeit das Becken mehr nach vorne geneigt und zwar wird der Grad, um welchen diese Neigung diejenige des aufrechten Stehens übertrifft, direct durch das Maass der Rückwärtsstellung des Beines bestimmt. Wenn z. B. das Bein, welches sonst eine Neigung gegen den Boden von ungefähr 83° hat, in der Rückwärtsstellung nur 73° Neigung gegen den Boden besitzt, so befindet sich die *Conjugata*, diesem entsprechend, in einer

Neigung von c. 70° statt der gewöhnlichen Neigung von c. 60° .¹⁾)

Es ist auffallend, dass den Brüdern Weber bei der ausgezeichneten Genauigkeit, mit welcher sie alle bei dem Schritt sich geltend mächenden Verhältnisse geprüft haben, diese Thatsache entgangen ist. Sämmtliche Figuren ihrer Tafeln 15 und 16 haben deshalb für gewisse Stellungen eine viel zu geringe Beckenneigung; besser ist dieses Verhältniss in den Tafeln 13 und 14 aufgefasst, in welchen eine steilere Beckenneigung in den Zeichnungen sich findet. Indessen ist doch auch in diesen Zeichnungen, wie auch in denjenigen der Tafeln 15 und 16, die Beckenneigung insofern nicht richtig dargestellt, als sie für einen jeden Theil des Schrittes dieselbe ist, während sie doch in den Figuren 12, 13, 14 auf Tafel 13 um etwa 10° geringer sein sollte als in den Figuren 4, 5, 6, 7 derselben Tafel. Auf diesen Punkt habe ich indessen später noch einmal zurückzukommen. — So ist auch in der verbesserten Albinus'schen Skeletzeichnung die Beckenneigung noch nicht die richtige; denn sie ist nur in die Neigung des aufrechten Stehens corrigirt und sollte, da das linke Bein in Schrittstellung um etwa 8° rückwärts gestellt ist, noch um weitere 8° verändert sein, so dass sie von derjenigen auf der ursprünglichen Albinus'schen Zeichnung nicht nur um 21° , sondern um 29° abweiche.

Wenn nun in der Schrittstellung, entsprechend der Rückwärtsstellung des einen Beines, eine stärkere Neigung des Beckens nach vorn vorhanden ist, so muss, wenn dabei der Rumpf in seiner Gesamtheit eine aufrechte Stellung haben soll, zugleich eine Haltungscorrection durch Einknickung in der Lendenwirbelsäule gegeben sein, und durch diese muss eine beliebige den Rumpf nach seiner Länge durchziehende Linie um eben so viele Grade rückwärts geführt worden sein, als die Conjugata nach vorwärts und das Femur nach rückwärts geführt war.

1) Vgl. hierüber die Fig. 14 meines Schriftchens über die wechselnde Lage des Schwerpunktes.

In der oben geschilderten Schrittstellung, bei welcher der vordere Fuss bereits die Schwerlinie aufgenommen hat und der hintere Fuss noch mit dem Boden in Berührung ist, ist daher stets eine steilere Beckenneigung und eine entsprechende corrigirende Lendeneinknickung vorhanden.

Wie weit nun eine solche Lendeneinknickung im Stande ist, bei der Rückwärtsstellung eines Beines die Haltung des Rumpfes in die Senkrechte zu corrigiren, muss sich aus den Bewegungsmöglichkeiten der Wirbelsäule überhaupt ableiten lassen. Für den vorliegenden Zweck wird diese am einfachsten durch eine gerade Linie bestimmt, welche man durch die Wirbelsäule (mit Ausschluss der nur die Haltung des Kopfes bestimmenden Halswirbelsäule) legt und deren Neigung man in den verschiedenen Stellungen der Wirbelsäule bestimmt. Ich lege eine solche Linie von dem untersten Halswirbel zum Promontorium, genauer: von der Mitte des vorderen Randes der oberen Fläche des siebenten Halswirbels zu der Mitte des vorderen Randes der oberen Fläche des ersten Kreuzbeinwirbels. Ich finde nun, dass diese Linie in der von mir construirten Wirbelsäule des aufrechten Stehens¹⁾ eine Neigung nach hinten um 8° gegen die Senkrechte besitzt, wobei der dadurch gebildete Winkel nach oben offen ist. — Ziehe ich nun dieselbe Linie in den von mir gefundenen extremen Rückwärts- und Vorwärtslagen der Wirbelsäule,²⁾ so finde ich, dass auf dem feststehenden Kreuzbeine als Mittelpunkt die durch diese Linie bezeichnete Bewegungsmöglichkeit der Wirbelsäule in der Richtung der Mittelebene im Ganzen 64° beträgt; und von diesen liegen 38° vor und 26° hinter der in der aufrechten Stellung gegebenen Haltung. — Wenn nun an den Rumpf die Anforderung einer aufrechten Haltung im Allgemeinen gestellt wird, so ist damit eine solche Haltung gemeint, bei welcher die bezeichnete Linie dieselbe Neigung gegen den Horizont (oder

1) Vgl. Horner, über die normale Krümmung der Wirbelsäule. Dieses Archiv 1854. S. 478 ff. — und mein Schriftchen über die wechselnde Lage des Schwerpunktes.

2) Vgl. beide oben genannten Arbeiten.

gegen die Senkrechte) besitzt, wie in der aufrechten Stellung. Aus den eben gemachten Angaben ist dann ferner zu ersehen, dass die Möglichkeit zu einer solchen aufrechten Haltung bei sehr verschiedenen Neigungen des Beckens möglich ist, indem die angegebene Bewegungsmöglichkeit der Wirbelsäule im Stande ist, die durch die veränderte Beckenneigung gestörte aufrechte Haltung der Wirbelsäule zu corrigiren, und zwar kann, wie aus obigen Zahlenangaben zu erkennen, eine Rückwärtsneigung des Beckens um 38° und eine Vorwärtsneigung desselben um 26° noch durch entsprechende Bewegung der Wirbelsäule zu aufrechter Haltung des Rumpfes corrigirt werden. Weiter geht aber die Correctionsmöglichkeit nicht, und jede weitere Rückwärts- oder Vorwärtsneigung des Beckens muss dann nothwendig mit entsprechender Rückwärts- oder Vorwärtsneigung des ganzen Rumpfes verbunden sein. — Es ist übrigens wohl nicht nöthig noch besonders darauf aufmerksam zu machen, dass die eben gegebenen Zahlen, ebenso wie die Angabe der Neigung des Femur um 7° gegen die Senkrechte im aufrechten Stehen, nur individuelle Bedeutung haben. Da sie aber an einem wohlgebauten Individuum wirklich gefunden sind, so können sie für die folgende Untersuchung ohne Weiteres als allgemein gültig angenommen werden, indem die zu gewinnenden Sätze doch dieselben bleiben müssen und auf alle Individuen anwendbar sein werden, wenn auch die benutzten Zahlwerthe nicht für alle ganz zutreffend sind.

In dem Früheren ist nun aber bereits der Satz gefunden, dass die Neigung des Beckens in der Schrittstellung unmittelbar abhängig ist von der Neigung des Femur in dem nach hinten gestellten Beine, und deshalb lässt sich ein Theil des eben gefundenen Gesetzes mit besonderer Beziehung auf den Schritt auch auf die Haltung des Femur direct anwenden und würde dann lauten:

bei einer Schrittstellung, in welcher das hintere Femur um 26° mehr gegen den Horizont geneigt ist, als in der aufrechten Stellung, ist noch durch das Maximum der Rückwärtsbeugung der Wirbelsäule eine Correction zu aufrechter Haltung des Rumpfes möglich:

— und dieses ist somit die äusserste Gränze der Correctionsmöglichkeit.

Besitzt in der aufrechten Stellung das Femur eine Neigung mit seinem oberen Ende nach vorn um 83° gegen den Horizont oder um 7° gegen die Senkrechte, so ist demnach die Gränze der Correctionsmöglichkeit erreicht, wenn in der Schrittstellung das hintere Femur eine Neigung gegen den Horizont von 57° besitzt oder gegen die Senkrechte eine solche von 33° .

Die Neigung des nach hinten gestellten Femur muss in der Weber'schen Schrittstellung sich stets innerhalb zweier scharf gezeichneten Gränzen befinden, welche durch das Verhalten des Fusses und des Fussgelenkes bedingt sind.

Ich nehme der Einfachheit wegen an, es befinde sich in dieser Schrittstellung die Hüftaxe ohne Theilnahme einer horizontalen Componente¹⁾ senkrecht über dem Fussgelenke (d. h. der Knöchelaxe) des vorderen Beines und suche dann durch Construction den Winkel zu bestimmen, welchen dabei das nach hinten gerichtete Femur gegen die Senkrechte bildet. Für diese Construction führe ich das Bein auf seine einfachsten mathematischen Verhältnisse zurück, indem die einzelnen Knochen durch gerade Linien dargestellt sind, welche die Drehpunkte beziehungsweise die punktförmigen Profilansichten der Drehaxen der einzelnen Gelenke unter einander verbinden. Es ist dieselbe Methode, welche ich bereits in meinem Aufsatze über die Individualitäten des Ganges mit Erfolg angewendet habe, und welche seitdem mehrfach Nachahmung gefunden hat.

Um dabei einen möglichst grossen Kreis von Individualitäten zu berücksichtigen, stelle ich drei in Bezug auf die Schrittlänge verschiedene Schrittstellungen neben einander, nämlich:

1) Vgl. die Individualitäten des aufrechten Ganges. Dieses Archiv 1853. S. 548 ff.

A: Schritt mit 1 Fusslänge Zwischenraum zwischen den Fuss-
spuren

B: " " 1 $\frac{1}{2}$ " " " "

C: " " 2 " " " "

Die mit B bezeichnete Schrittgrösse entspricht am Meisten derjenigen, welche man gewöhnlich angewendet sieht und stimmt auch mit der schon im Alterthume angenommenen Länge von 5 Fuss für den Doppelschritt. — A ist also ein kurzer Schritt und B ein langer.¹⁾

Die beiden oben bezeichneten Neigungsgränzen des hinteren Femur sind in Folgendem gegeben:

1. Die stärkste Neigung (kleinsten Winkel gegen den Horizont) zeigt das Femur, wenn das im Knie gestreckte Bein ohne Hebung des Fusses (also mit Beugung im Fussgelenk) nach vorn gelehnt ist.
2. Die geringste Neigung (grössten Winkel gegen den Horizont) zeigt das Femur dann, wenn mit der Streckung im Kniegelenk noch möglichste Streckung im Fussgelenke verbunden ist, so dass der hintere Fuss demnach von dem Boden erhoben nur noch mit dem Metatarsusköpfchen der grossen Zehe (und den Zehen überhaupt) aufgestützt ist,

Die Messungen an den in dem angegebenen Sinne ausgeführten Constructionen (vgl. Fig. 1 und Fig. 2) zeigen nun, dass der Winkel des nach hinten gerichteten Femur für die 6 im Sinne der Weber'schen Auffassung entworfenen Schrittstellungen beträgt:

| | für Stellung I. | für Stellung II. |
|---------------------|-----------------|------------------|
| 1 schuhiger Schritt | 25° (18°) | 20° (13°) |
| 1 $\frac{1}{2}$ " " | 32° (25°) | 26° (19°) |
| 2 " " | 40° (33°) | 32° (25°) |

Die in Klammern beigefügten Zahlen zeigen die Differenz der Femurneigung in der betreffenden Schrittstellung gegen die Neigung im aufrechten Stehen, welche für sich schon etwa 7°

1) Der Kürze wegen will ich für diese Schrittlängen in dem Folgenden die Bezeichnungen: einschuhiger, anderthalbschuhiger, zweischuhiger Schritt gebrauchen.

beträgt. Diese Differenz ist dann diejenige Grösse, welche durch die Lendeneinknickung der Wirbelsäule zu corrigiren ist. — Die Correctionsmöglichkeit ist in dem Früheren auf c. 26° angesetzt worden und der Vergleich dieses Werthes mit den oben zusammengestellten Werthen lässt leicht erkennen, dass bei Ansprüchen an eine aufrechte Haltung in der Schrittstellung die Correctionsarbeit in der Lendenwirbelsäule eine sehr beträchtliche sein muss, und dass sie für die Stellung I in dem zweisehuhigen Schritt auch in dem Maximum ihrer Ausführung noch um 7° zu gering, demnach ungenügend ist, die aufrechte Haltung herzustellen; und doch sind für die Stellung II die Verhältnisse noch sehr günstig gewählt, indem die Fusstreckung sehr beträchtlich angenommen ist, nämlich in einem Winkel von 140° zwischen der Axe des Unterschenkels und der Axe des vorderen Theiles des Fusses. Die Annahme dieses Winkels ist durch den folgenden Umstand bedingt worden: Um ein genau anzugebendes Verhältniss zur Grundlage zu gewinnen habe ich für die Stellung II in dem einsehuhigen Schritt eine solche Streckstellung in dem hinteren Beine gewählt, bei welcher das vordere Bein in Streckung ganz senkrecht gestellt ist, so dass also Hüftaxe, Knieaxe und Knöchelaxe dieses Beines in eine Senkrechte fallen; das hintere im Knie gestreckte Bein musste dabei eine Streckstellung im Fussgelenke annehmen, welche durch den bezeichneten Winkel von 140° angegeben wird; — und diesen Winkel der Fussstreckung behielt ich dann der Uebereinstimmung wegen auch für die beiden anderen Schrittgrössen bei.

Dass bei einer solchen Gestaltung des hinteren Beines, in welcher das Kniegelenk gebeugt und das Fussgelenk gestreckt ist, das Femur einen kleineren Winkel gegen die Senkrechte bildet, ist ohne weiteren Beweis deutlich. Indessen erschien es doch nöthig, die übrigen damit verbundenen Verhältnisse ebenfalls durch das Hülfsmittel der Construction zu untersuchen. Ich behielt dabei, um den Einfluss der Kniebeugung möglichst rein darzustellen, für das Fussgelenk den

oben schon bezeichneten Streckungswinkel von 140° bei, und hatte nun zuerst zu fragen, wie klein der Winkel des Femur gegen die Senkrechte werden könne. Es liess sich leicht finden, dass es für alle drei Schrittlängen möglich ist, mit diesem Streckungswinkel des Fussgelenkes und einem entsprechenden Beugungswinkel des Kniegelenkes dem Femur des hinteren Beines eine vollständig senkrechte Lage zu geben, so dass seine Axe demnach in der Seitenansicht vollständig mit der senkrechten Linie zusammenfällt, welche Knöchelaxe und Hüftaxe des vorderen Beines verbindet.

In einer auf solche Weise durch die bezeichnete gegenseitige Lage der Theile des hinteren Beines erzielten Schrittstellung kann demnach der Winkel des hinteren Femur gegen die Senkrechte gleich Null werden. Jedenfalls also kann er die Grösse von 7° haben, welche dieselbe ist, wie im aufrechten Stehen. Ist nun aber das hintere Bein in der Schrittstellung in solcher Weise gestellt, dann ist für die Erzielung einer aufrechten Haltung des Rumpfes gar keine Correction nothwendig; und es ist somit einleuchtend, dass ein Hauptvorteil diesër Form des Schrittes gerade in dieser geringen Neigung des Femur bestehe, indem dabei die Arbeit der Wirbelsäule ohne Beeinträchtigung der aufrechten Haltung im Gang sehr wesentlich vermindert wird und sogar ganz umgangen werden kann, wenn die Kniebeugung wirklich bis zu dem Grade von 7° Neigung des Femur gegen die Senkrechte getrieben wird. Wie viel Kniebeugung hierfür nöthig ist, lehrt die Construction (vgl. Fig. 3), indem sie nachweist, dass bei 140° Fusswinkel der Kniewinkel des hinteren Beines beträgt:

| | | |
|-----|-----------------------------|-----------------|
| | für den 1 schuhigen Schritt | 157° |
| " " | " " $1\frac{1}{2}$ " " | " " 145° |
| " " | " " 2 " " | " " 131° |

Es ist noch von Interesse, das Verhalten der verschiedenen besprochenen Schrittstellungen zu einem anderen beim Gange zu berücksichtigenden Punkte zu vergleichen, nämlich zu der Hebung und Senkung während des Gehens.

Sehen wir die Höhe der Hüftaxe über dem Boden bei senkrechter Stellung des gestreckten Beines, während die ganze Fusssohle auf dem Boden ruht, als Nullpunkt an; und bezeichnen wir die eben besprochene Schrittstellung mit Kniebeugung und Fussstreckung in dem hinteren Beine mit III, so ist die Stellung der Hüftaxe (vgl. Fig. 1, 2, 3)

| | <i>Senkung</i> | | |
|------------------------|-----------------|------------------|-------------------|
| | f. d. Stell. I, | f. d. Stell. II. | f. d. Stell. III, |
| f. d. 1 schuh. Schritt | 9 Cm | 0 Cm | 0 Cm |
| " " 1 1/2 " | 14,5 " | 3,5 " | 5,5 " |
| " " 2 " | 22 " | 8 " | 14 " |

Diese Zahlen zeigen, dass auch in Bezug auf die Höheschwankungen bei dem Gange die Schrittstellung mit Kniebeugung im hinteren Beine nicht ungünstig ist, indem selbst in dem besprochenen äussersten Grade derselben die Senkung nicht erheblich mehr beträgt als in der Stellung, welche in äusserster Anwendung des Weber'schen Principes die höchste Lage der Hüftaxe gestattet.

Das bisher Entwickelte hat darüber belehrt, dass die geläufige Art der Action des hinteren Beines bei dem Schritte der von den Brüdern Weber aufgestellten Norm gegenüber den Vortheil gewährt, die mitwirkende Thätigkeit der Wirbelsäule zu beschränken, und damit eine Erleichterung der Muskelarbeit bei dem Gange zu gewähren, ohne die Länge des Schrittes zu beschränken und ohne zu beträchtliche Höheschwankungen zu veranlassen.

Hierin ist schon ein genügender Beweggrund für die Bevorzugung dieser Art des Ganges gegeben. Berücksichtigen wir aber nicht nur wie in dem bisherigen, die vollendete Schrittstellung, sondern auch das Zustandekommen derselben, so ergibt sich aus der Art, wie die beim Schritte in dem hinteren Beine thätigen Muskeln wirken, auch noch unverkennbar, dass die besprochene Action des hinteren Beines auch schon für sich als die naturgemässere anzusehen ist.

Untersuchen wir zuerst, in welcher Weise die in dem Weber'schen Schema verlangte gleichzeitige Knie- und Fuss-

streckung zu Stande kommt, so werden wir in Bezug auf die Kniestreckung keine Schwierigkeit finden, indem wir diese leicht als durch die bekannte Kniestreckerguppe des *m. cruralis* mit den beiden *m. vasti* und dem *m. rectus femoris* ausgeführt erkennen. Ein Anderes ist es dagegen mit der Fussstreckung, diese letztere Thätigkeit ist nämlich an zwei Gruppen von Muskeln übertragen, welche in sehr verschiedener Weise wirken. — Die eine Gruppe umfasst die Wadenmuskeln (*m. gastrocnemii* und *plantaris*), diese wirken direct auf die Fussstreckung hin und arbeiten somit einer gleichzeitigen Kniestreckung entgegen; — die kniebeugende Wirkung dieser Muskeln wird um so leichter sich geltend machen müssen, als bei Feststellung des Fusses auf dem Boden die Fussstreckung nur dadurch erreicht werden kann, dass die Schwere des Rumpfes gehoben wird, wobei diese einen Hebelarm besitzt, der sich zu demjenigen der genannten Muskeln ungefähr verhält wie 2 : 3. Soll also die fuststreckende Wirkung dieser Muskeln ohne die kniebeugende Complication hervortreten, so muss die letztere durch die Thätigkeit der Kniestreckerguppe aufgehoben werden, und wenn die letzteren die Aufgabe haben, gleichzeitig eine Kniestreckung auszuführen, so wird ein Theil ihrer Kraft durch den eben bezeichneten Antagonismus vernichtet werden müssen. — Die zweite Gruppe sind die hinter den Knöcheln hindurchgehenden langen Muskeln (*m. tibialis posterior*, *m. peronaeus longus* und *brevis*, *m. flexor digitorum communis longus* und *m. flexor hallucis longus*), diese Muskeln wirken bei fixirter Fusspitze durch Seitendruck von hinten her hebend auf das Fussgelenk und somit streckend auf den Fuss, aber sie wirken zugleich rückwärts ziehend auf den Unterschenkel und arbeiten somit der beabsichtigten Vorwärtsbewegung des ganzen Beines entgegen. — Der *m. soleus*, in vielfacher Beziehung zur ersten Gruppe gehörig, schliesst sich in dem vorliegenden Falle in Bezug auf die unwillkommene Nebenwirkung an die zweite Gruppe an. Eine Rückwärtsbewegung des Unterschenkels kann nur vermieden werden, wenn die Schwerlinie des Körpers schon vor dem Metatarsusköpfchen der grossen Zehe herunter fällt und damit die Fallbewegung um letzteres schon eingeleitet ist.

Es mischen sich deswegen in die gleichzeitige Ausführung der Streckbewegung des Knies und derjenigen des Fusses so viele störende Elemente ein, dass diese Bewegungen nur mühsam zu Stande gebracht werden können; und es kann sich auch Jeder leicht durch den Versuch überzeugen, dass er die verlangte Stellung des hinteren Beines mit gestrecktem Kniegelenk und gestrecktem Fussgelenk nur dann sicher und ohne Mühe erreichen kann, wenn er den alten militärischen Ordonschritt ausführt, d. h. wenn er mit erhobenem vorderen Beine sich auf dem in Kniestreckung befindlichen hinteren Beine durch Fussstreckung erhebt und dann in dieser Haltung eine Fallbewegung um das Metatarsusköpfchen der grossen Zehe des letzteren Beines ausführt. Behauptlich kommt aber dieser Schritt nirgends vor als auf dem Exercirplatze, und ist gegenwärtig selbst von diesem verbannt; und sollte er auch wirklich häufiger Anwendung finden, so würde er nur einer Modification des gravitatischen Ganges Entstehung geben und keinesweges einer Art des gewöhnlichen Ganges. Das Zustandekommen des gewöhnlichen Ganges ist aber der Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

Wenn ich nun diesen Muskelthätigkeiten diejenigen entgegen stellen soll, welche bei Fussstreckung mit Kniebeugung ausgeführt werden, so habe ich zuerst zu untersuchen, welcher Art eigentlich diese Bewegung ist; denn man würde sehr Unrecht haben, wenn man die Kniebeugung als ein Förderungsmittel der Vorwärtsbewegung ansehen wollte. Die Kniebeugung für sich würde im Gegentheile nur eine Rückwärtsbewegung des Rumpfes erzielen. Diejenige Bewegung, welche bei dieser Action des hinteren Beines hauptsächlich vorwärts befördert, ist vielmehr das Umfallen um das Metatarsusköpfchen der grossen Zehe; und was charakteristisch ist für die in Rede stehende Bewegung, das ist, dass an diesem Umfallen nur der Unterschenkel und der Fuss theilhaftig sind, während der Oberschenkel mit dem Rumpfe gemeinschaftlich den vorwärtsgetragenen Theil darstellt. Es ist also das bekannte Schema für die Fallbewegung, welche einen Theil des Ganges ausmacht, nur fällt nicht, wie jenes Schema sagt, der Rumpf in

dem durch das ganze Bein als Radius bestimmten Bogen, sondern es fällt der Rumpf mit dem Oberschenkel in dem Bogen, welche durch Unterschenkel und Fuss als Radius bestimmt wird. Die Fusstreckung ist dabei sogar nicht einmal wesentlich, sondern sie ist nur ein unterstützendes und beförderndes Moment. Das steifste Schema der zu untersuchenden Action des abstossenden (hinteren) Beines ist daher: Starrheit im Hüftgelenk, Starrheit im Fussgelenk und Umfallen des Unterschenkels um das Metatarsusköpfchen der grossen Zehe, wobei die Abknickung zwischen Rumpf und Oberschenkel einerseits und Unterschenkel und Fuss andererseits im Kniegelenke geschieht. Die Kniebeugung erscheint deshalb ebenfalls als ein mehr Secundäres.

Wenn nun aber die Fusstreckung nicht als ein wesentliches Element erscheint und die Kniebeugung als ein Secundäres, d. h. als eine Bewegung auf welche eine Muskelaction nicht nothwendig direct einzuwirken braucht, so muss der Ausgangspunkt dieser Bewegung des Beines an einem anderen Orte gesucht werden und wir finden ihn in den folgenden Verhältnissen: Wir haben in allen besprochenen Schrittstellungen denjenigen Augenblick des Schrittes zur Untersuchung gewählt, in welchem die Hüftaxe senkrecht über der Knöchelaxe des vorderen Beines liegt und haben für diesen Augenblick die Gestalt des hinteren Beines kennen zu lernen gesucht und im Widerspruche gegen die Weber'sche Meinung dieses nicht in allen seinen Theilen gestreckt gefunden, sondern im Knie gebeugt. Wenn wir nun verstehen wollen, wie diese Gestalt zu Stande kommt, so müssen wir das in der besprochenen Schrittstellung nach vorn gestellte Bein in denjenigen Bewegungen verfolgen, welche es ausführt, bis es in der folgenden Schrittstellung zum hinteren Beine geworden ist. — In dem Augenblicke des Schrittes, den wir bisher als Schrittstellung aufgefasst haben, ist der Schwerpunkt durch den vorderen Fuss allein unterstützt; der hintere Fuss kann nun vom Boden gelöst werden, um seine Pendelung nach vorn auszuführen, und das vordere Bein hat dann während dessen die Aufgabe, den Schwerpunkt bis über das Metatarsusköpfchen der grossen Zehe

hinaus nach vorn zu führen; der Schwerpunkt erhält dadurch diejenige Bewegung, welche ich als „Hauptbogen“ bezeichnet habe.¹⁾ Diese Bewegung könnte geschehen durch eine Fussbewegung oder durch eine active (d. h. eine durch die Kniestrecker ausgeführte) Kniestreckung. Wie auch diese beiden Thätigkeiten dabei gelegentlich mitwirken mögen, und z. B. beim Bergsteigen auch wirklich mitzuwirken pflegen, so geschieht die bezeichnete Bewegung doch hauptsächlich durch die Muskeln des Hüftgelenkes, insbesondere den *m. gluteus maximus* und die *m. adductores*. In dem Augenblicke nämlich, in welchem der hintere Fuss den Boden verlässt, liegt das Becken in einer der Lage des hinteren Femur entsprechenden Neigung auf dem Schenkelkopfe des vorderen Beines und es muss dann während der Ausführung des Hauptbogens das Becken wieder aufgerichtet und zu dem ruhenden (vorderen) Beine in extreme Streckstellung gebracht werden. Es ist nun von Interesse zu sehen, dass die Ausführung dieser Streckung schon für sich im Stande ist, den Schwerpunkt in sogleich auszuführender Weise in dem Hauptbogen nach vorn zu führen. Die beiden genannten Muskeln (die Adductoren als eine Einheit angesehen) sind bekanntlich zwischen dem Femur und dem hinteren Theile des Beckens angeordnet; dass dieser Satz auf den *m. gluteus maximus* passt, bedarf keiner Ausführung; aber auch für die Adductoren ist er in der geneigten Lage des Beckens, von welcher wir hier auszugehen haben, richtig, indem in dieser Lage die Hauptanheftung der Adductoren an dem *os ischii* entschieden hinter dem Femur gelegen ist. Wenn nun diese Muskeln wirken, so werden sie den hinteren Theil des Beckens (Kreuzbein und Sitzbein) nach vorn ziehen und damit den vorderen Theil des Beckens (Hüftbein) heben, sie werden also das ganze Hüftbein aufrichten. Das *punctum fixum* für diese Bewegung muss das Femur sein; um in dieser Weise zu dienen, müsste aber das Femur fixirt sein; es ist jedoch nicht fixirt und wird deshalb nach rückwärts gezogen.

1) Vgl. die Individualitäten des aufrechten Ganges. — Dieses Archiv 1853. S. 548 ff.

dieser Zug nach rückwärts tritt aber, wegen der Fixirung des unteren Endes der Tibia an dem auf dem Boden stehenden Fusse, als Kniestreckung in die Erscheinung; in dieser Kniestreckung weicht allerdings das Knie etwas rückwärts, der Hauptsache nach wird aber durch dieselbe das obere Ende des Femur und mit ihm das Becken und der Rumpf nach vorwärts bewegt (vgl. Fig. 5, b u. c.). Hiermit nun ist die Ausführung des Hauptbogens gegeben. Ist dieser dann so weit geführt, dass die Schwerlinie das Metatarsusköpfchen der grossen Zehe überschreitet, dann tritt die Fallbewegung (vorderer Ergänzungsbogen) ein. Da nun aber vorher schon Femur und Becken gegenseitig in extreme Streckstellung gebracht und dadurch in eine feste Einheit verwandelt sind, so müssen diese beiden Theile zusammen als Ganzes fallen und wenn dabei eine möglichst aufrechte Haltung bewahrt bleiben soll, so muss sich das Femur gegen die umfallende Tibia einknicken, d. h. es muss eine Kniebeugung entstehen und dieses geschieht leicht und nothwendig, wenn, wie es in der Stellung gerade vor der Fallbewegung der Fall ist, die Schwerlinie hinter der Knieaxe herunterfällt. Es liesse sich darüber reden, ob die besprochene Kniebeugung, wie soeben ausgesprochen, ganz allein durch die Fallbewegung verbunden mit der Schwerewirkung des Körpers zu Stande kommen könne, oder ob eine besonders darauf gerichtete Muskelaction hierfür nothwendig ist; diese Frage wird aber für's Erste unnöthig, weil es sich zeigt, dass in Wirklichkeit eine Muskelwirkung dazu mithilft. Ausser den schon besprochenen Muskeln (*m. gluteus maximus* und *Adductoren*) wirken nämlich als wichtige Aufrichter des Beckens noch die langen am Becken (*tuber ischii*) entspringenden Kniebeuger. Der Hebelarm dieser Muskeln ist an dem geneigten Becken etwa doppelt so gross als an der Tibia; die Entfernung des *tuber ischii* von dem Hüftmittelpunkte beträgt nämlich c. 80 Mm., während die Anheftungsstelle des *m. biceps femoris* etwa 45 Mm. und diejenige des *m. semimembranosus* etwa 40 Mm. von der hinteren Drehaxe des Knies entfernt sind. Wirken nun diese Muskeln in der Aufrichtung des Beckens mit, so wird demnach zunächst ihre Wirkung auf

dieses hervortreten, wenn aber in dem aufgerichteten Becken das tuber ischii nach vorn geschoben und der Hebelarm dieser Muskeln an dem Becken damit verkleinert ist, und wenn zugleich wegen Erreichung der extremen Streckstellung im Hüftgelenke weitere Bewegung in diesem nicht mehr möglich ist, dann wird die Einwirkung dieser Muskeln auf die Tibia in Gestalt einer Kniebeugung hervortreten. Dieser Augenblick ist aber gerade der vorher besprochene, in welchem die Aufrichtung des Beckens vollendet ist und die Fallbewegung beginnt. Es gesellt sich demnach eine active Kniebeugung zu der Fallbewegung und hilft die aufrechte Haltung bewahren. Es ist von Interesse für diese Processe, dass sowohl der m. gluteus maximus als die Adductoren noch eine direct streckende Wirkung auf das Knie haben können, indem sie in bekannter Weise mit den m. vasti eng verbunden sind, und bei dem m. gluteus maximus tritt diese kniestreckende Wirkung noch viel entschiedener hervor durch seine Anheftung gemeinschaftlich mit dem m. tensor fasciae latae an der vorderen Seite des condylus externus tibiae. Diese Verhältnisse der genannten Muskeln müssen einerseits die Streckung des Knies während der Ausführung des Hauptbogens direct unterstützen und andererseits die kniebeugende Wirkung der langen Kniebeuger während der Aufrichtung des Beckens antagonistisch aufheben, so dass sie erst nach vollendeter Aufrichtung des Beckens in die Erscheinung treten kann.

Es bleibt nun noch das Verhältniss der Fussstreckung zu dem Zustandekommen der fraglichen Action des hinteren Beines zu untersuchen. — Wenn es wirklich der Fall ist, dass in dieser Action die Fallbewegung um das Metatarsusköpfchen die Hauptsache ist, so wird, wie auch oben bereits angedeutet, die Fussstreckung keinesweges als ein nothwendiges Element derselben erscheinen und man überzeugt sich auch leicht durch die Construction (vgl. Fig. 4), dass eine Schrittstellung mit einem günstigen Neigungswinkel des hinteren Femur gegen die Senkrechte (in der Zeichnung 15°) in gleicher Weise zu Stande kommen kann, ob der Beugungswinkel des Fusses derselbe bleibt, wie er im Augenblicke des Eintrittes der Fall-

bewegung war (in der Zeichnung 100°), oder ob er grösser (120°) oder kleiner (80°) wird. Der wichtigste Unterschied zwischen den drei hierdurch zur Vergleichung kommenden Stellungen ist in der Höhe des Hüftgelenkes über dem Boden zu finden; je mehr Streckung im Fussgelenk ausgeführt wird, um so höher muss das Hüftgelenk über dem Boden bleiben und so sehen wir denn auch bei Mitwirkung einer Fussstreckung um 20° das Hüftgelenk durch die Fallbewegung von 97 Cm. nur auf 91,5 Cm. über dem Boden sinken, während es bei einer Fussbeugung um 20° auf 80 Cm. sinkt, und bei gleichbleibendem Fussbeugungswinkel auf 87 Cm. — Die Fussstreckung erscheint demnach zwar nicht als ein Nothwendiges, aber sie zeigt doch schon hierdurch den Vortheil, dass durch sie die Höheschwankung im Gang geringer wird; findet statt ihrer eine Fussstellung statt, so entsteht der „knickbeinige“ Gang mit sehr beträchtlichen Höheschwankungen, Die Ausführung der Fussbeugung gewährt aber auch noch andere Vortheile. Während die Vermehrung der Fussbeugung nur durch die Schwerkraft des Körpers zu Stande kommt und deshalb der durch dieselbe charakterisirte „knickbeinige“ Gang Aeusserung allgemeiner Schwäche zu sein pflegt, so ist dagegen die Fussstreckung das Ergebniss von Muskelwirkungen. Welche Muskeln hierbei zusammenwirken, ist in früherem schon besprochen; auch ist dort schon eine Unterscheidung in zwei Gruppen unter diesen Muskeln gemacht worden. Ich berücksichtige für's Erste nur die *m. gastrocnemii* mit dem *m. plantaris*. Bekanntlich wirken diese Muskeln streckend auf den Fuss; ihr Ursprung an dem Femur giebt ihnen aber auch zugleich eine beugende Einwirkung auf das Kniegelenk; die Wirkung auf die Fussstreckung wird allerdings wegen bedeutenderer Grösse des Hebelarmes die beträchtlichere sein; die Beugeeinwirkung auf das Kniegelenk ist aber darum nicht minder wichtig, denn sie unterstützt die kniebeugende Wirkung der langen Kniebeuger, welche bei diesen, wie oben gesehen, als zweite Wirkung hervortritt.

Wir haben nunmehr zwei direct (activ) wirkende Ursachen für die Kniebeugung kennen gelernt und sind dadurch aufge-

fordert nachzuforschen, ob diese Muskelactionen, obgleich sie nach dem früher Gesagten scheinbar für das Zustandekommen der Kniebeugung nicht nöthig sind, doch eine gewisse Wichtigkeit erlangen. Ich glaube eine solche Wichtigkeit in den folgenden Verhältnissen finden zu dürfen. In der der Fallbewegung vorangehenden Streckstellung des Beines ist die Lage des Femur sehr wenig von der Senkrechten abweichend; es wird in der Regel nach hinten geneigt bleiben, kann aber auch bei stärkerer Streckung eine nach vorn geneigte Stellung gewinnen. Es wird deswegen leicht geschehen können, dass im Augenblicke des Eintrittes der Fallbewegung oder auch kurz nach dem Eintritte derselben die Schwerlinie vor der Knieaxe herunterfällt; die Kniebeugung, deren Bedeutung für die Lage des Femur in der Schrittstellung schon in dem ersten Theile dieser Untersuchung erkannt worden ist, kann aber durch die Schwere des Körpers nur dann zu Stande kommen, wenn die Schwerlinie hinter der Knieaxe herunterfällt. Dass die im Augenblicke des Eintrittes der Fallbewegung durch die beiden angegebenen Muskelactionen ausgeführte Kniebeugung, indem sie das obere Ende des Femur relativ rückwärts führt, Bürgschaft dafür giebt, dass die Schwerlinie auch sicher hinter die Knieaxe fällt, ist unschwer einzusehen, und in diesem Umstande möchte die Hauptbedeutung jener Muskelbeihülfe in der Kniebeugung zu erkennen sein.

Um nun die Wirkungsweise der zweiten Gruppe von Fussstreckern (*m. tibialis posterior*, *peronaeus longus* und *brevis*, *flexor hallucis longus* und *flexor digitorum communis longus*) zu verstehen, müssen wir davon ausgehen, dass nach dem vorher Besprochenen auf dem oberen Ende der Tibia die ganze Schwere des übrigen Körpers lastet, und dass dieses obere Ende mit dieser Belastung eine Kreisbewegung nach vorn und unten ausführt, deren Mittelpunkt das Metatarsusköpfchen der grossen Zehe ist. Die fraglichen Muskeln haben nun je nach der Fixirung des einen oder des anderen ihrer beiden Anheftungspunkte entweder eine Senkung der Fussspitze oder ein Rückwärtsziehen der Tibia um die Knöchelaxe als Centrum zur Wirkung. Wenn der Fuss auf dem Boden steht, dann ist

die Fusspitze fixirt und es müsste demnach die Wirkung auf die Tibia in die Erscheinung treten. Diese Wirkung müsste aber das obere Ende in einem ähnlichen Kreisbogen zurückführen, wie derjenige ist, in welchem dasselbe durch die Schwerkraft nach vorn hinab geführt wird. Die Kraft der betreffenden Muskeln müsste demnach die Kraft der ganzen Schwerelast des Körpers überwinden. Dieser Aufgabe möchten sie nun vielleicht gewachsen sein, aber die Aufgabe wird dadurch noch modificirt und erschwert, dass der Hebelarm der Schwere ein sehr grosser, derjenige der Muskeln dagegen ein sehr kleiner ist. Die Muskeln liegen ja dicht hinter der Knöchelaxe und ihr Hebelarm ist, diesem Verhältniss entsprechend, sehr unbedeutend, während dagegen der Hebelarm der Schwere der horizontale Abstand der aus dem Kniegelenk gefällten Senkrechten von der Knöchelaxe ist. Durch diesen Umstand wird die Aufrichtung der Tibia durch die genannten Muskeln so sehr erschwert, dass die Tibia ebenfalls als, wenn auch nur relativ, fixirt anzusehen ist. Da demnach beide Anheftungsstellen dieser Muskeln fixirt sind, so muss die Wirkung ihrer Zusammenziehung sich als ein Seitendruck auf das Fussgelenk geltend machen und dadurch eine Hebung des Fussgelenkes bei Anstimmung der Fusspitze an den Boden erzielen. Einer solchen Action wird die Schwerebelastung der Tibia nicht entgegenstehen, denn deren Folge, die kreisförmige Senkung des oberen Endes der Tibia, kann dabei ungestört vor sich gehen und jene Muskelaction wirkt nur modificirend darauf ein.

Wird eine Fussstreckung auf diese Weise als Hebung des Knöchelgelenkes über den Boden ausgeführt, so bewegt sich dabei das Knöchelgelenk in einem Kreisbogen, dessen Mittelpunkt das Metatarsusköpfchen der grossen Zehe ist, nach oben und vorn; die gleiche Bewegung muss dann auch dem von dem Knöchelgelenk getragenen Beine und somit auch dem ganzen Körper gegeben werden. Wird nun diese Bewegung in dem Augenblicke ausgeführt, in welchem die Schwerlinie in ihrer Vorwärtsbewegung über dem Metatarsusköpfchen angekommen ist, so wird damit dem ganzen Körper eine solche

Vorwärtsbewegung gegeben, dass dadurch die Fallbewegung eingeleitet wird. Beginnt die Fusstreckung etwas früher, so hilft sie noch dazu den Hauptbogen vollenden. —

Die Fusstreckung, obgleich nicht durchaus nöthig, gewährt also dennoch so viele Vortheile in der Gangbewegung, dass sie als ein wesentlicher Bestandtheil derselben gewöhnlich angewendet wird, und zwar beginnt ihre Ausführung aus den im Obigen zu erkennenden Gründen in der Regel schon vor der Vollendung des Hauptbogens.

Aus dieser ganzen Entwicklung über das Verhalten des ruhenden Beines während der Ausführung des Hauptbogens und der Fallbewegung ist es leicht ersichtlich, dass dieses Bein, wenn das andere (unterdessen pendelnde) Bein den Boden berührt hat, eine Stellung haben muss, in welcher das Knie gebeugt und das Fussgelenk gestreckt ist. Ist etwa noch für die Uebertragung der Schwerlinie auf das andere (gerade aufgesetzte) Bein ein hinterer Ergänzungsbogen nothwendig, so wird dieser leicht zu Stande gebracht durch Fortsetzung der Fallbewegung und etwa auch Fortsetzung der Fusstreckung. Ist dann die Schwerlinie soweit nach vorn geführt, dass sie in den vorderen (gerade aufgesetzten) Fuss fällt, so ist die Schrittstellung gegeben, deren Motivirung unsere Aufgabe war.

In dem ersten Theile haben wir gesehen, dass ihr Bestehen für sich schon die aufrechte Haltung beim Gange erleichtert, und jetzt haben wir erkannt, dass ihr Zustandekommen sich eben so leicht als natürlich giebt; und es wird dadurch ihre allgemeine Anwendung hinlänglich erklärt sein.

Durch die beschriebene Action des hinteren Beines werden aber auch noch andere Vortheile erreicht, welche nur in ihr begründet sind.

Ich erwähne nur kurz, dass die activen (Muskelthätigkeits-) Elemente in dem Entstehen und der Fortsetzung der Kniebeugung in ähnlicher Weise abstossend wirken müssen, wie die Fusstreckung, und deshalb wie diese unterstützend werden müssen

für die Vorwärtsbewegung des Körpers im Ergänzungsbogen und dem Hauptbogen.

Bedeutender ist der Nutzen, welcher durch die beschriebene Art der Thätigkeit des Beines für die Pendelung desselben nach vorn gewonnen wird. Die Pendelung hat zu beginnen in dem Augenblicke, in welchem also für einen Augenblick diejenige Haltung der Beine und des Rumpfes vorhanden ist, welche wir als „Schrittstellung“ bezeichnet haben. — Während der Ausführung des Hauptbogens findet eine Streckung in dem ruhenden Beine statt und damit wird die Hüftaxe gehoben und der Raum für das pendelnde Bein damit vergrößert — Das pendelnde Bein selbst muss aber verkürzt sein, um ohne Berührung des Bodens sich nach vorn bewegen zu können. Ist das hintere Bein in allen seinen Theilen gestreckt, so muss diese Verkürzung durch einen besonders darauf gerichteten Muskelact zu Stande kommen, namentlich muss für diesen Zweck eine Kniebeugung durch Muskelthätigkeit besonders hervorgebracht werden.¹⁾ Ist dagegen in der Schrittstellung die Kniebeugung in dem abstossenden Beine schon vorhanden, so ist damit die Bedingung der Verkürzung für die Pendelung bereits erfüllt und vielleicht wird sogar durch dieselben Momente, welche die Kniebeugung erzeugt haben, die Verkürzung während der Pendelung noch vermehrt. Die letzte Wirkung in dem abstossenden Beine, ehe dieses seine Pendelung beginnt, ist ja eine für den Zweck der Abstossung kräftiger „schnellende“, „werfende“, und muss sich deshalb auch noch fortsetzen, nach dem die Abstossung schon geschehen ist, und zwar muss diese Fortsetzung schon allein nach dem Gesetze der Trägheit zu Stande kommen. Dass eine solche Fortsetzung von Bewegungen, welche ursprünglich durch Muskelthätigkeit erzeugt waren, auf diese Weise zu Stande kommen können, beweisen auf das Schlagendste diejenigen Fälle, in welchen eine Bewegung dieser Art über die Gränze der möglichen Muskelthätigkeit hinaus

1) Eine solche Kniebeugung als Mittel, den Fuss vom Boden abzuheben, und das Bein für die Pendelung zu verkürzen, nehmen auch die Brüder Weber an. Mechanik der Gehwerkzeuge S. 247.

geht. Einer der überzeugendsten der hierher gehörigen Fälle ist gerade bei der Beugung des Kniegelenkes zu beobachten; es ist nämlich auch bei angestrengtester ruhiger Muskelthätigkeit nicht möglich, durch Kniebeugung mit der Ferse das tuber ischii zu berühren; sehr leicht gelingt dieses indessen, wenn man dem Unterschenkel durch eine einmalige heftige Action seiner Beugemuskeln eine Wurfbewegung mittheilt; er überschreitet dann die Gränze der möglichen directen Muskelwirkung und das Anschlagen der Ferse an das tuber ischii kann noch mit ziemlicher Heftigkeit zu Stande kommen. — Eine, wenn auch schwächere, Wurfbewegung dieser Art wird nun auch als abstossende Bewegung des hinteren Beines dem Unterschenkel desselben mitgetheilt und deshalb muss sich die Beugungsbewegung des Knies auch noch fortsetzen, nachdem das Bein bereits von dem Boden gelöst ist. Es ist leicht zu erkennen, dass durch diesen Umstand das schwingende Bein noch mehr verkürzt und damit für die Pendelung geeigneter gemacht werden muss. — Ueber das Verhältniss des auf diese Weise erreichten höchsten Grades der Kniebeugung, welcher nach dem Aufsetzen des Beines beobachtet wird, lässt sich natürlich Nichts bestimmen, denn es wird je nach der Individualität des Gehenden oder je nach der momentanen Art der Ausführung des Schrittes geschehen können, dass im Augenblicke des Aufsetzens dieser höchste Grad der Beugung noch vorhanden ist, oder durch die Einwirkung der Schwere des Unterschenkels in dem letzten Zeitraume des Pendelns schon gemildert ist, — und es kann ferner auch geschehen, dass durch das Aufsetzen selbst in Folge der Einwirkung der Schwere des Rumpfes die Kniebeugung noch vermehrt wird. Jedenfalls wird die Kniebeugung des aufgesetzten Beines noch vermehrt durch die schiebende Action des hinteren Beines während der Ausführung des hinteren Ergänzungsbogens.

In Bezug auf die Vorwärtsbewegung des frei schwebenden Beines, durch welche dieses aus der hinteren Stellung in die vordere gelangt, haben die Brüder Weber gewiss mit Recht

und durch überzeugende Gründe unterstützt die Ansicht aufgestellt, dass dieselbe, ohne besonders darauf gerichteter Muskelthätigkeit zu bedürfen, schon allein durch Pendelbewegung zu Stande kommen könne. Ich habe auch kein Bedenken getragen im Anschlusse an diese Ansicht in dem Obigem wiederholt von der Pendelung des Beines zu reden. Es wird uns jedoch schwer des Bild, welches wir vom Pendel haben, unmittelbar auf das schwingende Bein zu übertragen, weil das Bein in dem Hüftgelenke keinen losen Aufhängungspunkt besitzt, sondern von kräftigen Muskelmassen umgeben ist, deren vordere Abtheilungen in der Vorwärtsbewegung des Beines Knickungen und Verschiebungen erfahren müssen, während die hinteren Dehnungen erleiden. Diese beiden Momente müssen einer Pendelbewegung so bedeutende Hindernisse entgegenstellen, dass eine beträchtliche aufsteigende Oscillation in dem Beine kaum erwartet werden darf, wenn auch die absteigende Oscillation (der Ausfall) eine ziemliche Grösse besessen hätte. Die Brüder Weber, welche zuerst bestimmt die pendelnde Action des nach vorn gehenden Beines aufgestellt haben, haben selbst die Möglichkeit dieses Einwandes gefühlt,¹⁾ und haben denselben experimental zu entkräften gesucht. Ihre Erfahrungen sprechen aber eher zu Gunsten der Richtigkeit des Einwandes, denn sie fanden, „dass das Bein, bloß einmal angestossen, nur wenige Schwingungen macht und bald zur Ruhe kommt,“ und sie sahen sich daher genöthigt, um für Bestimmung der Schwingungsdauer eine „hinreichende Zahl von Schwingungen“ zu erhalten, „dem Beine bei jedem Durchgange durch die senkrechte Lage von hinten nach vorn, eine geringe Beschleunigung oder einen kleinen Stoss zu ertheilen.“²⁾ Diese Thatsachen weisen doch zur Genüge darauf hin, dass die Pendelschwingung des Beines einen starken Widerstand findet, als dessen Ursache allein die Umlagerung des Hüftgelenkes durch seine starke Musculatur angesehen werden kann; und ein solcher Widerstand wird sich auch mit Nothwendigkeit bei der einzelnen Schwingung, welche

1) Mechanik der Gehwerkzeuge S. 250.

2) ibid. S. 250—251.

jedes Bein auszuführen hat, geltend machen müssen und zwar namentlich als Hemmung der aufsteigenden Oscillation. — Die Brüder Weber scheinen auch der aufsteigenden Oscillation wenig Bedeutung beizumessen, indem sie die Pendelschwingung nur bis zu der ungefähr senkrechten Lage in Anspruch nehmen und daher nur die absteigende Oscillation in ihr Bild von dem Schritte aufnehmen (S. 256), womit es in Einklang gebracht wird, dass die Schrittdauer gleich sei der halben Schwingungsdauer des Beines (S. 253).

Die senkrechte Lage des Beines im Augenblicke des Aufsetzens ist aber nur bei dem flüchtigsten Schritte zu beobachten, bei welchem in Folge dieses senkrechten Aufsetzens der hintere Ergänzungsbogen wegfällt. In dem gewöhnlichen Schritte, welcher zwischen diesem Extrem des flüchtigen Schrittes und dem anderen Extrem des gravitatischen Schrittes in der Mitte steht, findet aber ein Aufsetzen des Fusses weiter nach vorn statt; die senkrechte Linie wird demnach überschritten und dieses ist um so mehr der Fall, je mehr sich der Schritt dem gravitatischen Schritte nähert. Die Charakteristik des gravitatischen Schrittes beruht ja gerade darin, dass das ruhende Bein in senkrechter Lage verharrt, bis das schwingende Bein mit seinem Fusse um die ganze Schrittlänge nach vorwärts bewegt ist. Eine aufsteigende Oscillation wird demnach beim gewöhnlichen Schritte sowohl als namentlich auch bei dem gravitatischen Schritte beobachtet, und das Bild der Pendelschwingung, welches durch eine Beschränkung auf die absteigende Oscillation sehr gestört gewesen wäre, ist damit allerdings vervollständigt.

Es wird indessen gegenüber der oben berührten Schwierigkeit noch die Frage gestattet sein, ob wir bei dieser äusserlich erscheinenden, allerdings den Pendelcharakter zeigenden Bewegung auch wirklich nur die Pendelgesetze in Anwendung kommen sehen, d. h. ob wir annehmen dürfen, dass die Lagenveränderung des schwingenden Beines aus einer hinten gehobenen Lage durch die Senkrechte hindurch in eine nach vorn gehobene Lage einzig und allein als eine Folge der

Schwerewirkung ansehen dürfen oder ob dabei nach andere Kräfte mit in's Spiel kommen.

Dass Muskelkräfte, direct auf Vorwärtsbewegung des schwingenden Beines im Hüftgelenke gerichtet, dabei mitwirken können und gelegentlich auch wohl mitwirken, ist nicht zu bezweifeln. Diese können wir indessen hier gänzlich ausser Acht lassen, weil es sehr leicht zu finden ist, welches diese Kräfte sein müssten, so dass sie keine besondere Untersuchung nothwendig machen, sie können ja jeden Augenblick wenn es nöthig erscheinen sollte, zur Ergänzung herangezogen werden.

Es bietet sich nun aber allerdings, abgesehen von dieser möglichen Mitwirkung der Hüftmuskeln des schwingenden Beines, ein Moment dar, welches die besprochene Vorwärtsbewegung desselben bedeutend unterstützt, und dieses ist das Folgende.

Es ist in dem Früheren erkannt worden, dass vor der Ablösung des hinteren Beines von dem Boden das Becken, mit demselben in extremer Streckstellung verbunden, eine starke Neigung nach vorn besitzt und in dieser eine Beugstellung gegen das vordere Bein. Während dann das abgelöste Bein nach vorn schwingt, erhält das Becken wieder eine Streckstellung gegen das ruhende Bein und damit eine aufrechtere Stellung. Es ist in dem Früheren auch bereits gesehen, wie beides allein durch die Wirkung der Muskeln des ruhenden Beines zu Stande kommt. Würde diese Bewegung ohne Verückung des dem ruhenden Beine angehörigen Femur geschehen, so würde der Winkel der Beckendrehung gerade so gross sein, wie der Winkel zwischen den beiden Femora in der Schrittstellung, in dem gewählten Beispiele (Fig. 5) demnach 38° . Nun richtet sich aber das ruhende Bein während der Schwingung des anderen Beines durch Kniestreckung auf und die Bewegung des Beckens wird damit, weil ihr die Bewegung des Femur entgegen kommt, um eben so viel geringer, als dabei die Winkelverminderung des Femur gegen die Senkrechte beträgt. In dem gewählten Beispiele ist dieses 20° . Die Beckenbewegung beträgt demnach noch 18° . Denkt man sich nun

das vom Boden gelöste Bein unbeweglich mit dem Becken verbunden, so wird dasselbe schon allein durch die Beckenbewegung um 18° vorwärts bewegt werden und diese Bewegung muss in zweierlei Weise auf die Schwingung des Beines einwirken, einestheils dadurch, dass sie die Schwingung um die genannte Grösse direct fördert, andererseits dadurch, dass sie der Pendelschwingung einen Impuls giebt und damit die Widerstände überwinden hilft, welche derselben entgegenstehen.

Es stellt sich demnach heraus, dass die Schwingung des abgelösten Beines nur eine unreine Pendelschwingung ist, indem sie nicht durch die Schwerkraft allein zu Stande kommt, sondern durch die gleichzeitige Bewegung des Beckens noch einen Impuls erhält und eine von der Pendelschwingung unabhängige directe Vergrösserung erfährt.

Fassen wir die Ergebnisse der hier durchgeführten Untersuchung über einige Punkte des gewöhnlich ausgeführten Ganges in wenige Sätze zusammen, so sind dieses die folgenden:

1. In dem Schritte erfährt das Becken eine Neigung gegen vorn, welche entsprechend ist der Neigung des hinteren Femur gegen die Senkrechte. — Ihr Maximum erreicht diese Neigung im Augenblicke der Ablösung des abstossenden (hinteren) Beines von dem Boden.

2. Die dadurch gestörte aufrechte Haltung des Rumpfes muss durch Lendeneinknickung corrigirt werden.

3. Die Correctionsmöglichkeit ist jedoch über ein bestimmtes Maass der Beckenneigung hinaus nicht mehr vollständig vorhanden.

4. Je geringer der Winkel des hinteren Femur gegen die Senkrechte, um so geringer ist auch die Correctionsarbeit der Lendenmuskulatur, und daher um so zwangloser die Gehbewegung.

5. Durch eine Action des abstossenden Beines, in welcher Kniebeugung und Fussstreckung sich vereinigen, wird dieser Winkel möglichst klein, ohne Störung der Länge des Schrittes und ohne zu beträchtliche Höhenschwankung im Gehen.

6. An der Kniebeugung nimmt allerdings Muskelaction in Etwas Antheil; der Hauptsache nach kömmt sie aber durch

die Schwerewirkung des Rumpfes während der Fallbewegung in dem vorderen Ergänzungsbogen zu Stande.

7. Kniestreckung findet nur während der Ausführung des Hauptbogens statt und ist die Wirkung der Muskelaction, welche das geneigte Becken auf dem ruhenden Beine wieder aufrichtet.

8. Diese Aufrichtung des Beckens hat auch einen beträchtlichen Einfluss auf die „Pendelung“ des schwingenden Beines, indem sie dieser einen befördernden Impuls giebt, und sie gleichzeitig direct vergrössert.

9. Die beschriebene Gangart mit Kniebeugung in dem abstossenden und Kniestreckung in dem ruhenden Beine ist in dem Mechanismus des Knochengerüsts und der Muskeln als die bequemste und leichteste und damit auch als die naturgemässeste begründet und ist deshalb auch die allgemein angenommene, ohne die Möglichkeit des Auftretens von Individualitäten in den verschiedensten Mittelformen zwischen gravitatischem und flüchtigem Schritte irgendwie zu beschränken.

Zürich, November 1868.

Erklärung der Zeichnungen.

Fig. 1 zeigt die Gestalt der Schrittstellung für die drei Schrittweiten, wenn das Knie gestreckt und der Fuss nicht vom Boden erhoben ist. — Die Senkung der Hüftaxe unter den Nullpunkt (vgl. Fig. 2) ist in Centimetern für jede Schrittweite beigeschrieben. (Stellung I).

Fig. 2 zeigt dasselbe mit einer Fussstreckung zu 140° Fusswinkel neben der Kniestreckung. (Stellung II).

Fig. 3 zeigt dasselbe mit einer Fussstreckung zu 140° Fusswinkel wie in Fig. 2 aber mit Kniebeugung (Stellung III), wobei der Winkel des hinteren Femur zur Senkrechten gleich 7° ist, wie im aufrechten Stehen.

Fig. 4 ist eine Modification der vorigen um den Einfluss der Fussstreckung zu zeigen. a ist der Fig. 5 entnommen (c in dieser); der Winkel des hinteren Femur gegen die Senkrechte ist für die drei Stellungen 15° . In der mit ausgezogenen Linien gegebenen Stellung ist der Fusswinkel 100° wie in a. — Die punktirte Zeichnung hat den kleineren Fusswinkel von 80° , die mit unterbrochenen Linien gegebene den grösseren von 120° . — Die Schrittweite ist diejenige mit $1\frac{1}{2}$ Fusslänge Zwischenraum zwischen den Fuss-

spuren. Die Höhe der Hüftaxe über dem Boden ist in Centimetern angegeben.

Fig. 5. Die Bewegung eines Beines von dem Augenblicke des Aufsetzens bis zu dem Augenblicke der Ablösung von dem Boden. — Von a bis b wird es im hinteren Ergänzungsbogen geschoben; — von b bis c führt es unter rückwärtsweichender Kniestreckung den Hauptbogen aus; — von c bis d fällt es unter Kniebeugung und Fusstreckung in dem vorderen Ergänzungsbogen; — von d bis e wirkt es schiebend in dem hinteren Ergänzungsbogen des folgenden Schrittes unter fortgesetzter Kniebeugung und Fusstreckung. — Diese Composition ist zunächst bestimmt, die besprochenen Sätze zu illustriren und deshalb haben die gewählten Winkel des Knies Werthe von runden Zahlen; indessen ist damit doch eine mittlere Art des gewöhnlichen Ganges möglichst getreu wiedergegeben. — Dreimal ist der Werth des Winkels zwischen Tibia und Fusrücken auf die Tibia geschrieben, weil in dem Winkel selbst nicht Platz war.

