© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

vorkommenden orangeroten rhombischen Tafeln aus, aber in weit geringerer Zahl wie dort.

Es bleibt noch die Frage zu erörtern, welche chemische Zusammensetzung die bei den Vanessen vorkommenden Farbstoffe haben. Genaues kann ich hierüber nicht angeben, da eine Analyse noch nicht gemacht worden ist. Es scheint mir indessen, wie schon erwähnt, sehr wahrscheinlich, dass wir in ihnen Umwandlungsprodukte des durch die Verdauungsthätigkeit gelösten Chlorophylls zu suchen haben. Der gestern bei der Raupe mit Chlorophylllösung erfüllte Darm wird morgen rot, ohne dass vorher eine Abscheidung des Chlorophylls nach außen oder eine Aufnahme roten Farbstoffes stattgefunden hätte; wie kann dieser Vorgang anders erklärt werden als durch eine direkte Umwandlung des grünen Saftes in roten. Dass die bei den Vanessen vorkommenden Pigmente ein Umwandlungsprodukt der Harnsäure sind, glaube ich deshalb entschieden nicht; dagegen habe ich oft beobachtet, dass sich die Pigmente auf den Harnsäuresalze darstellenden Körnchen, die in den Epithelien und in den Malpighischen Gefäßen abgelagert sind, niederschlagen. Durch Salzsäure werden die Farbstoffe indessen mit gelber Farbe gelöst und größtenteils von den Harnsäurekrystallen getrennt. Neutralisieren wir durch Ammoniak oder lassen wir das Präparat an der Luft stehen, so regenerieren die Farbstoffniederschläge ihre rote Farbe wieder. [75]

Der Gang des Menschen.

Von **R. F. Fuchs.**

(Schluss.)

Die selbständige Fortbewegung des menschlichen Körpers, sowie jede Lokomotion geschieht unter der Einwirkung innerer und äußerer Kräfte; als innere Kräfte kommen in erster Linie die Muskelkräfte in Frage, dann die elastischen Zug- und Druckwirkungen der Sehnen, Bänder, Gelenkknorpel u. s. w., während die äußeren Kräfte durch die Schwerkraft, den Gegendruck und die Reibung des Bodens, sowie durch den Luftwiderstand gegeben sind. Ohne Einwirkung äußerer Kräfte, ja selbst nur beim Fehlen der Reibung des Bodens wäre eine spontane Fortbewegung durch die Muskelkräfte wie beim Gehen unmöglich. Um aber die Reibung zur Fortbewegung ausnützen zu können, muss der von unserem Körper gegen den Boden ausgeübte Druck in schräger Richtung erfolgen, denn erst dann ist eine Komponente des Druckes parallel zur Bodenfläche gerichtet, wodurch eine Fortbewegung ermöglicht wird. Da die Reibung wie eine äußere Kraft wirkt, welche entgegengesetzt gleich der parallel der Boden-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

fläche verlaufenden Druckkomponente ist, so bezeichnet Fischer diese Kraft als Reibungskraft. Ueberblicken wir die Wirkungsweise der einzelnen äußeren Kräfte, mit der sie auf die Bewegungen des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers Einfluss nehmen, so kommen wir mit Fischer zu folgendem Resultate. Bei horizontaler Bodenfläche wird jede Beschleunigung oder Verzögerung des Schwerpunktes in vertikaler Richtung dem Zusammenwirken von Schwere und normalem Gegendruck des Bodens zuzuschreiben sein, während die gleichen Veränderungen in horizontaler Richtung durch die Reibungskraft und den Luftwiderstand bedingt sind. Durch Muskelaktionen sind wir im stande, sowohl den Gegendruck des Bodens als auch die Reibungskraft innerhalb gewisser Grenzen willkürlich zu ändern, weshalb wir die Richtung und Geschwindigkeit des Ganges nach unserem Willen zu regeln vermögen. Kennt man das genaue Bewegungsgesetz des Schwerpunktes des menschlichen Körpers während der einzelnen Phasen des Doppelschrittes, dann lassen sich auch die Größen für den normalen Gegendruck, die Reibungskraft und den Luftwiderstand durch Rechnung ermitteln. Aus den ersten beiden kann man unter genauer Kenntnis der Gelenkbewegungen ein Urteil über die Thätigkeit der hauptsächlich beim Gehen in Frage kommenden Muskelgruppen gewinnen. Es ist dies eine der Hauptaufgaben, welche Fischer in den vorliegenden Untersuchungen sich gestellt hat.

Der Lösung dieser letzten Frage scheinen mir, wie schon früher angedeutet, aber unüberwindbare Hindernisse entgegenzustehen. Freilich, wenn man wie Fischer annimmt, dass selbst bei großen individuellen Verschiedenheiten des Ganges doch die gleichen Muskelgruppen in Thätigkeit treten, dann könnte es auch möglich sein, über die Muskelthätigkeit beim Gehen zu einem einigermaßen abschließenden Urteile zu gelangen. Es handelt sich eben immer wieder um die Frage nach der Zulässigkeit der Hypothese vom typischen Gang. Zweifelsohne wird niemand leugnen wollen dass zur Ausführung bestimmter Bewegungen der einzelnen Körper- und Extremitätenabschnitte die Thätigkeit bestimmter Muskeln besonders geeignet ist, aber es ist doch ein gewaltiger Unterschied darin gegeben, wenn man annimmt, dass eine bestimmte Bewegung nur durch eine einzige bestimmte Kombination von Muskelaktionen möglich wäre. Verstehe ich Fischer recht, dann neigt er dieser Anschauung zu, welche dem Mechaniker allerdings die geläufigere zu sein scheint. Der Physiologe wird sich mit einer solchen Annahme nicht gut befreunden können, denn für ihn bestehen für das Zustandekommen einer koordinierten Bewegung stets mehrere Möglichkeiten. Die Fähigkeit vicariierenden Eintretens einzelner Gebilde für andere ist im allgemeinen sehr weit ausgebildet und kann auch dem Muskelsystem nicht abgesprochen werden, zumal die mechanische Analyse der Muskel-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

funktionen ergiebt, dass kaum ein Muskel unter allen für ihn möglichen Bedingungen nur stets ein und dieselbe Bewegung hervorzurufen im stande wäre. Ich verweise z. B. nur auf die Bedeutung der jeweiligen Stellung eines Gliedes zur Zeit des Kontraktionsbeginnes für den Effekt dieser Thätigkeit. Das Gehen ist nun nichts anderes als eine koordinierte Bewegung, für die keine Ausnahmen gegenüber anderen koordinierten Bewegungen gemacht werden soll oder kann. Es wird sich eben nur darum handeln, ob das Einzelindividuum es erlernt, die vorhandenen verschiedenen Möglichkeiten für das Zustandekommen einer bestimmten Bewegung in beliebiger Weise koordiniert miteinander zu verbinden. Welche Kombination dann gebraucht wird, ist zum großen Teil Uebungssache. Aus einer Bewegung des menschlichen Körpers an sich wird man aber niemals ohne weiteres auf die Thätigkeit bestimmter Muskel schließen können, weil wir gar nicht wissen können, welche Muskel das Individuum in koordinierte Thätigkeit versetzt. Ein solcher Schluss wäre nur dann zulässig, wenn es nur eine einzige Möglichkeit für das Zustandekommen einer Bewegung gäbe; und das ist sicherlich nicht der Fall. Außerdem sei auch hier wieder auf v. Meyer's Anschauungen verwiesen. Ziehen wir z. B. nur den vertikalen Bogen in Betracht, dann müssen wir ohne weiteres sagen, dass je nach den verschiedenen Mittelpunkten des Bogens, welche möglich sind, auch verschiedene Muskelgruppen in wechselnder Intensität sich an der Ausführung des Bogens beteiligen werden.

Vor Braune und Fischer[1]) wurde die Lage des Schwerpunktes des menschlichen Körpers zu wiederholtenmalen bestimmt. Als erster führte Borelli[2]) eine solche Untersuchung aus, ihm folgten mit wesentlich vollkommeneren Versuchen die Brüder Weber[3]). Eingehendere Untersuchungen hat dann Hermann v. Meyer[4]) und auch Harless[5]) angestellt. Fischer leitet die Lage der Einzelschwerpunkte für die einzelnen Bewegungsphasen aus der jeweiligen Stellung der Gelenkmittelpunkte der einzelnen Abschnitte ab, indem er die in der mit Braune gemeinsamen Arbeit gewonnenen Verhältniszahlen seinen Konstruktionen zu Grunde legt. Diese Verhältniszahlen geben z. B. für

---

1) Braune und Fischer: Ueb. d. Schwerpunkt d. menschl. Körpers mit Rücksicht a. d. Ausrüst. d. deutsch. Infanteristen. Abh. d. math. phys. Kl. d. kgl. sächs. Ges. d. Wissensch. Bd. XV, Nr. 7. Leipzig 1889.

2) Borellus, J. A.: De motu animalium Lugduni Batavorum 1679.

3) W. und E. Weber: Mechanik d. menschl. Gehwerkzeuge.

4) v. Meyer: Statik u. Mechanik d. menschl. Knochengerüstes und die daselbst angegebenen Spezial-Arbeiten.

5) Harless: Die statischen Momente d. menschl. Gliedmaßen. Abh. d. math. phys. Kl. d. kgl. bayer. Akademie d. Wissenschaften. Bd. VIII, I. Abt. München 1857.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

den Oberschenkel an, in welchem Verhältnis die Längsaxe des Gliedes durch den Schwerpunkt geteilt wird. Aus den so gefundenen Einzelschwerpunkten lässt sich entweder durch Rechnung oder auf dem Wege der Konstruktion der Gesamtschwerpunkt ermitteln, da der gemeinsame Schwerpunkt zweier Massen auf der Verbindungslinie der Einzelschwerpunkte liegt und dieselbe im umgekehrten Verhältnis dieser Massen teilt. Dieses Verfahren der Zusammensetzung des Gesamtschwerpunktes aus Einzelnschwerpunkten war bereits von v. Meyer angewandt und von Harless weiter durchgebildet worden. Ferner lassen sich durch Rechnung die Koordinaten des Gesamtschwerpunktes ermitteln, wenn man die Koordinaten der Einzelnschwerpunkte kennt. Endlich hat Fischer auch einen Mechanismus konstruiert, der automatisch die jeweilige Lage des Gesamtschwerpunktes verzeichnet. Dieser Apparat ist nichts anderes als eine Kombination von Storchschnäbeln (Kräfteparallelogramm), bei denen die Enden der freien Stäbe mit den Einzelnschwerpunkten verbunden sind, wobei dann der mittlere Punkt (d. i. der Verbindungspunkt der kurzen Stäbe) die Lage des Gesamtschwerpunktes der so verbundenen Einzelnschwerpunkte verzeichnet. Durch geeignete Kombination der nötigen Anzahl solcher Storchschnäbel hat Fischer die jeweilige Lage des Gesamtschwerpunktes bestimmt. Ein anderer von Fischer betretener Weg ist die Bestimmung des Gesamtschwerpunktes mit Hilfe der Hauptpunkte und Hauptstrecken. Die Hauptpunkte sind nach Fischer[1]) aufzufassen als die Schwerpunkte eines fingierten Massensystemes, welches man dadurch erhält, dass man in dem Mittelpunkte eines jeden Gelenkes des betreffenden Körperteiles die Massen aller anderen Körperteile sich konzentriert denkt, welche durch dieses Gelenk unmittelbar oder mittelbar mit dem fraglichen Körperteile in Verbindung stehen. Die Strecken zwischen den Mittelpunkten der einen Körperteil begrenzenden Gelenke und dem Hauptpunkte dieses Teiles heißen Hauptstrecken. Die Zusammensetzung der einzelnen Hauptpunkte zum Gesamtschwerpunkt erfolgt in noch einfacherer Weise wie die der Einzelnschwerpunkte, außerdem sind die Hauptstrecken ein Maß für den Einfluss, den die Bewegung der verschiedenen Körperteile und Systeme derselben auf die Lage des Gesamtschwerpunktes ausübt.

Während die einzelnen Schwerpunkte der Extremitätenabschnitte ziemlich bedeutende Exkursionen in der Vertikalrichtung ausführen, bleibt der gemeinsame Schwerpunkt beider Beine beim Gehen in einer bestimmten Höhe über dem horizontalen Fußboden. Die

1) Fischer: Die Arbeit d. Muskeln u. d. lebend. Kraft d. menschlichen Körpers. Abh. d. math. phys. Kl. d. kgl. sächs. Ges. d. Wissensch. Bd. XX, Nr. 1. Leipzig 1893.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Schwerpunkte des Kopfes, Rumpfes, sowie der Gesamtschwerpunkt des ganzen Körpers beschreiben während eines Doppelschrittes ähnlich komplizierte Bahnkurven, wie die des Hüftgelenksmittelpunktes etc., welche früher genauer beschrieben wurden. Bei dem Belastungsversuche zeigten sich nur geringe Unterschiede, indem sämtliche Schwerpunkts-Bahnkurven in der horizontalen Richtung mehr auseinandergezogen erscheinen, als in den Versuchen ohne Belastung. Um die Schwankungen des Gesamtschwerpunktes vollkommen zu verzeichnen, genügt es nicht, dieselben auf die drei Ebenen des festen räumlichen Koordinatensystemes zu projicieren, man muss vielmehr die Projektion auf eine Frontalebene einführen, welche der yx-Ebene des festen Koordinatensystemes entspricht, die wir uns aber mit der gleichen Geschwindigkeit, mit der die Vorwärtsbewegung beim Gehen erfolgt, parallel mit sich selbst vorwärts bewegt denken müssen. Senkrecht zu der bewegten Ebene schwingt nun der Gesamtschwerpunkt nach vorn und hinten. Wir können uns der Einfachheit halber das ursprünglich als fest angenommene räumliche Koordinatensystem mit der mittleren Ganggeschwindigkeit parallel zur yz-Ebene in der Gangrichtung vorwärts bewegt denken; dadurch werden selbstverständlich die y- und z-Koordinaten keine Veränderung ihrer Werte gegenüber jenen im festen Koordinatensystem erfahren. Die Projektionen der Bewegung des Gesamtschwerpunktes auf die horizontale Ebene des Fußbodens (xy-Ebene) sowie die auf die Gangebene (xz-Ebene) bleiben dieselben wie im festen Koordinatensystem, es ändern sich nur die Werte der x-Koordinaten, und diese neuen Koordinaten für das bewegliche Koordinatensystem bezeichnet Fischer als ξ-Koordinaten. Die Beziehung der Bewegungen des Gesamtschwerpunktes auf das bewegliche ξyz-Koordinatensystem lehrt uns, dass der Schwerpunkt des bewegten Körpers beim Fehlen jeder äußeren Kraft in Bezug auf das mit der mittleren Ganggeschwindigkeit gleichmäßig vorwärts bewegte Koordinatensystem in Ruhe bleiben müsste. Wirken aber äußere Kräfte ein, dann kommt eine relative Bewegung des Körpers zu diesem Koordinatensystem zu stande. Bei gleichmäßigem Gange beschreibt der Gesamtschwerpunkt des menschlichen Körpers in diesem Koordinatensystem eine in sich geschlossene Raumkurve, welche während eines Doppelschrittes einmal durchlaufen wird. Sie ist zur Gangebene symmetrisch, dagegen hat sie weder eine horizontale noch eine vertikale Symmetrieebene. Wir können aber zwei Ebenen finden, welche die Bahnkurve sowohl in der vertikalen als horizontalen Richtung in zwei symmetrische Abschnitte zerlegt. Die Ebenen bilden zusammen mit der Gangebene die „Mittelebenen“ für die periodischen Bewegungen des Schwerpunktes nach den drei Richtungen des Raumes. Als Mittelebene wird jene bezeichnet, zu welcher der Schwerpunkt

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

symmetrische Schwingungen nach den drei gegenüberliegenden Seiten (z. B. vorn und hinten, rechts und links) ausführt. Diese drei Ebenen schneiden sich in einem Punkte, von dem aus die Raumkurve sich in jeder der drei Hauptrichtungen gleichweit entfernt; er giebt zugleich die mittlere Lage des Schwerpunktes im beweglichen Koordinatenraume an und wird von Fischer als Kernpunkt der Bahn des Gesamtschwerpunktes bezeichnet. Es ist zweckmäßig, diesen Punkt zum Anfangspunkt des beweglichen Koordinatensystemes zu machen. Indem der Gesamtschwerpunkt gleichzeitig nach den drei verschiedenen Richtungen um den Kernpunkt schwingt, entsteht die geschlossene Raumkurve als Bahn des Gesamtschwerpunktes. Obzwar der Kernpunkt im beweglichen Koordinatenraume ein fester Punkt ist, schreitet er doch im ruhenden Koordinatenraume mit der mittleren Ganggeschwindigkeit vorwärts, er besitzt beim Gehen ebensowenig eine feste Lage innerhalb des menschlichen Körpers wie der Schwerpunkt, sondern er erleidet genau so wie dieser eine sehr starke Ortsveränderung. Dass der Schwerpunkt im Körper je nach der Haltung des Rumpfes und der Stellung der Extremitäten eine sehr wechselnde Lage hat, hat bereits H. v. Meyer ganz klar ausgesprochen, denn er sagt in seiner Statik und Mechanik ausdrücklich, es sei „vor allem einer sehr verbreiteten Meinung entgegenzutreten, welche dem Schwerpunkte eine unveränderliche Lage in dem Körper zuerkennt, fast so, als ob derselbe ein anatomischer Bestandteil des Körpers sei“. Daraus folgt von selbst, dass v. Meyer auch eine wechselnde Lage des Schwerpunktes beim Gehen als sicher annahm, wenngleich er auch über die genaue Bahnkurve des Schwerpunktes keine Angaben macht, weil ja eine solche nach v. Meyer's Anschauungen keinen Anspruch auf allgemeine Gültigkeit erheben kann, denn sie muss verschieden sein nach den verschiedenen Elementen, welche in die Gehbewegung einbezogen werden.

Die Betrachtung der von Fischer gewonnenen Bahnkurven des Gesamtschwerpunktes, welche in der Ansicht von hinten der des Kopfscheitelpunktes noch am ähnlichsten sind, lehrt, dass der Gesamtschwerpunkt in dem mit der mittleren Ganggeschwindigkeit fortbewegten Raume kleinere Exkursionen ausführt, als jeder andere Punkt des menschlichen Körpers. Die Bahnkurve des Gesamtschwerpunktes durchdringt während eines Doppelschrittes zweimal an derselben Stelle die Gangebene, bevor sie auf der einen oder anderen Seite ihren tiefsten Punkt erreicht hat. Zwischen den beiden Durchdringungen der Gangebene beschreibt dann der Gesamtschwerpunkt immer auf der einen Seite, auf welche er gerade übergetreten ist, ein hoch und etwas schräg nach vorn und außen gestelltes Oval. Beim Gange mit Belastung ist die Form der Schwerpunktsbahn im wesentlichen dieselbe geblieben, nur ist sie in allen Dimensionen größer

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

geworden. In den Projektionen der Bahnkurven hat Fischer auf Grund neuerlicher Bestimmungen auch die Zeitpunkte bezeichnet, in denen die beiden unteren Extremitäten auf den Boden aufgesetzt werden und zu schwingen beginnen, womit die zeitlichen Beziehungen der Bewegung des Gesamtschwerpunktes zum Ablauf der gesamten Gangbewegung gegeben sind. Die Projektion der Bahnkurve des Gesamtschwerpunktes auf die Gangebene (xz-Ebene) stellt eine eiförmige Linie dar und wird während eines Doppelschrittes zweimal durchlaufen, während die Projektionen auf die Frontalebene (yz-Ebene) und die Horizontalebene des Fußbodens (xy-Ebene), die schon bekannte lemniscatenähnliche Form besitzen und während eines Doppelschrittes nur einmal zurückgelegt werden.

Um zu einem genauen Bewegungsgesetz des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers zu kommen, müssen außer den Bahnkurven noch die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen bekannt sein, mit welchen jeder Punkt der Bahnkurve durchlaufen wird. Eine mathematische Ableitung dieser Größen auf dem Wege wiederholter Differentiation ist wegen der Kompliziertheit des Bewegungsgesetzes des Gesamtschwerpunktes nicht mit entsprechender Genauigkeit auszuführen, weil es nicht möglich ist, alle für das Bewegungsgesetz der Organismen in Frage kommenden Faktoren in einer verhältnismäßig einfachen Formel auszudrücken. Deshalb leitet Fischer die gesuchten Größen auf geometrischem Wege ab, indem er von den Wegkurven ausgeht. Die Wegkurven des Gesamtschwerpunktes (nicht zu verwechseln mit den Bahnkurven) haben als Ordinaten die Werte der Koordinaten des Gesamtschwerpunktes und als Abscissen der Zeit proportionale Strecken, wobei die Zeit vom Momente der ersten der verzeichneten 31 Bewegungsphasen gemessen wird. Aus den Wegkurven der einzelnen Koordinaten, welche ein deutliches Bild vom Bewegungsverlaufe in der Richtung der betreffenden Koordinate geben, lassen sich die Geschwindigkeitskurven und aus diesen wieder die Beschleunigungskurven unmittelbar ableiten. Die Geschwindigkeit ist für jeden Moment proportional der trigonometrischen Tangente des Winkels, welchen die Tangente an den betreffenden Punkten der Wegkurve mit der Abscissenaxe bildet. Als Einheit der Geschwindigkeit gilt jene, die einem Wege von 1 cm pro Sekunde (cmsec—1) entspricht. Die Ordinaten der Geschwindigkeitskurven sind die erhaltenen Tangentenwerte, während die Abscissen wieder die Einheiten der Zeit darstellen. Die Geschwindigkeitskurven schneiden stets in dem Momente die Abscissenaxe, in welchem die Wegkurven ein Maximum oder Minimum haben, dann ist die Tangente gleich Null, denn die Geschwindigkeit muss in dem Momente gleich Null sein, in welchem sich eine Bewegung umkehrt, was ja für die Maxima und Minima der Wegkurven zutrifft. Die Geschwindigkeitskurven müssen dann ihre Maxima

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

haben, wenn die zugehörigen Wegkurven aus einer nach unten konvexen Krümmung in eine konkave übergehen, im umgekehrten Falle ist ein Minimum zu verzeichnen. In diesen sogenannten Wendepunkten der Wegkurven ändert sich die Winkelgröße der Tangente mit der Abscissenaxe in entgegengesetzter Richtung. Wurde der Winkel z. B. bis zur Erreichung des Wendepunktes immer größer, so wird er mit dem Momente des Passierens des Wendepunktes wieder kleiner. In analoger Weise werden aus den erhaltenen Geschwindigkeitskurven die Beschleunigungskurven abgeleitet, d. h. jene Kurven, welche die Beschleunigung als Funktion der Zeit darstellen. Die Beschleunigungen sind ein Maß für das Wachstum der Geschwindigkeiten und sind für jeden Moment proportional der trigonometrischen Tangente der Winkel, welche die Tangenten an den entsprechenden Punkten der Geschwindigkeitskurve mit der Abscissenaxe bildet. Deshalb haben die Beschleunigungskurven ihre Maxima, respektive Minima entsprechend den Wendepunkten der Geschwindigkeitskurven, und sie durchschneiden die Abscissenaxe, wenn die Geschwindigkeitskurve ein Maximum oder Minimum hat. In diese Weg-Geschwindigkeits- und Beschleunigungskurven der einzelnen Koordinaten des Gesamtschwerpunktes müssen wiederum die Zeitpunkte der einzelnen Bewegungsphasen der unteren Extremitäten eingetragen werden, wenn wir die zeitlichen Verhältnisse der Bewegung des Gesamtschwerpunktes zu jenen der unteren Extremität ermitteln wollen. Deshalb wurde von Fischer an allen Kurven der Zeitpunkt des Aufsetzens und Schwingungsbeginnes der Beine markiert, ferner die Zeitpunkte angemerkt, in denen der auf dem Boden allein aufstehende Fuß die Periode des Aufstehens mit ganzer Sohle anfängt oder beendigt.

Wenn wir die Bewegungen des Gesamtschwerpunktes in der Gangrichtung analysieren, so bedienen wir uns der Projektion auf die mit der mittleren Ganggeschwindigkeit in der Gangrichtung vorwärts bewegte Frontalebene. Die Schwingungen in der Gangrichtung haben die Dauer eines einfachen Schrittes. Kurz vor dem Aufsetzen des schwingenden Beines, während der andere Fuß sich vom Boden abwickelt, ist der Schwerpunkt am weitesten nach rückwärts gelagert, um die bewegte Ebene kurz vor dem Zeitpunkte zu durchdringen, in welchem das bisher auf dem Boden stehende Bein seine Schwingung beginnt. Sein Maximum nach vorn ist erreicht während des Aufstehens des einen Beines mit ganzer Sohle; der Schwerpunkt tritt zu Anfang des letzten Drittels der Periode des Aufstehens mit ganzer Sohle von vorne her durch die bewegte Frontalebene hindurch, um sich seinem rückwärtigen Maximum zu nähern. Die seitlichen Bewegungen des Schwerpunktes sind folgende. Er befindet sich während des Aufstehens auf einem Beine immer auf der Seite dieses Beines und tritt ungefähr mit dem Momente des Auf-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

setzens des anderen Beines auf die andere Seite herüber. Die Maxima der seitlichen Schwankungen fallen auf beiden Seiten ziemlich mit dem Ende des ersten Drittels der Periode des Aufstehens mit ganzer Sohle zusammen. Die Dauer der gesamten Horizontalschwingung ist die eines Doppelschrittes. Die Vertikalschwankungen des Gesamtschwerpunktes, welche um eine horizontale Mittelebene ausgeführt werden, haben die Dauer eines einfachen Schrittes, dabei wird die Mittelebene von dem in der Richtung von oben nach unten sich bewegenden Schwerpunkt durchschritten, nachdem der allein aufstehende Fuß seine Abwicklung vom Boden begonnen hat, und er erreicht seinen tiefsten Stand in der Mitte des Zeitraumes des Aufstehens beider Beine. Hierauf nähert sich der Schwerpunkt von unten her der Mittelebene und durchdringt sie neuerlich am Ende des ersten Viertels der Periode des Aufstehens des anderen Fußes mit ganzer Sohle; er erreicht gegen Ende des zweiten Drittels der Periode des Aufstehens seinen höchsten Stand, um sich dann in der beschriebenen Weise von neuem nach abwärts zu bewegen. Bezüglich des speziellen Verhaltens der Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, welche sich in der angegebenen Weise aus den Wegkurven leicht ableiten lassen, sei auf das Original verwiesen. Der Belastungsversuch ergab keine wesentlich abweichenden Resultate.

Noch anschaulicher wird der Ablauf des ganzen Bewegungsgesetzes des Gesamtschwerpunktes, wenn man sich nebst den relativen Schwerpunktsbahnen noch die Projektionen des Hodographen (Hamilton) auf die drei Hauptebenen verschafft. Der Hodograph giebt im Verein mit einem festen Punkte des Raumes, von dem aus die aufeinanderfolgenden Geschwindigkeiten des Gesamtschwerpunktes als entsprechend proportionale Strecken aufgetragen werden, ein deutliches Bild vom Verlaufe der relativen Geschwindigkeiten des Gesamtschwerpunktes, ferner eine genaue Orientierung über die Richtung und Größe der Beschleunigung des Schwerpunktes an jeder Stelle seiner Raumkurve. Bezüglich des genaueren Verhaltens der einzelnen Hodographenprojektionen muss auf die Fischer'sche Arbeit verwiesen werden, es genügt hier, zu betonen, dass die Analyse der Hodographenprojektionen die von Fischer bereits gemachten Angaben über das Bewegungsgesetz des Schwerpunktes vollkommen bestätigt.

Wenn wir mit Fischer in einem kurzen Ueberblick den Anteil der äußeren Kräfte an den Bewegungen des Gesamtschwerpunktes in den drei Richtungen des Raumes ermitteln, so zeigt sich, dass die Reibung, so lange sie den Fuß am Ausgleiten verhindert, gleich der Horizontalkomponente derjenigen Kraft ist, mit welcher der Fuß gegen den Boden drückt; der Luftwiderstand ist proportional der Geschwindigkeit der Fortbewegung. Beide äußeren Kräfte haben also Einfluss auf die Fortbewegung des Schwerpunktes in der Gangrichtung,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

während seine Bewegungen in der Seitenrichtung fast ausschließlich durch die in diese Richtung fallende Reibungskomponente hervorgebracht werden, weil hier der Luftwiderstand zufolge der geringen herrschenden Geschwindigkeit keine Rolle spielt. Die Bewegungen des Schwerpunktes in vertikaler Richtung stellen die Resultante aus dem Zusammenwirken der Schwere und des normalen Gegendruckes des Fußbodens dar. Gegendruck und Reibungskraft lassen sich aus den Beschleunigungen des Gesamtschwerpunktes in allen drei Richtungen des Raumes annähernd genau berechnen. Beim Gange ohne Belastung ist im Momente, in dem der allein auf dem Boden stehende Fuß gerade beginnt, sich vom Boden abzulösen, der Druck nahezu gleich dem Körpergewicht, er steigt dann schnell zu einer beträchtlichen Höhe an, auf der er sich länger konstant erhält bis in die Periode des Aufstehens des anderen Beines mit ganzer Sohle, wird dann noch größer, um schnell abzufallen, so dass er während der zweiten Hälfte der Periode des Aufstehens des Fußes mit ganzer Sohle ungefähr die Hälfte des Körpergewichtes beträgt. Zu dieser Zeit hat der Schwerpunkt seinen höchsten Stand erreicht. Der Druck steigt aber sofort wieder an, so dass er am Ende der Periode des Aufstehens mit ganzer Sohle schon wieder das Körpergewicht erreicht hat.

Wir haben damit einen Einblick in die Bewegung des menschlichen Körpers als Ganzes gewonnen und die äußeren Kräfte kennen gelernt, welche in den einzelnen Bewegungsphasen auf den Körper einwirken. Dadurch, dass der Gegendruck und Reibungswiderstand des Bodens durch den Bewegungszustand des Körpers bedingt ist, ist er in letzter Linie eine Funktion der Spannungsänderungen unserer Muskeln. Fischer[1]) analysiert nun im allgemeinen die Wirkungen der Muskelthätigkeit. Erst durch die Aenderungen des Bodendruckes ist eine Muskelaktion im stande, die Bewegungen des Gesamtschwerpunktes zu beeinflussen, da sie sonst als ein Paar innerer, gleich großer Kräfte von entgegengesetzter Richtung aufzufassen wäre, welche eine Bewegungsänderung des Schwerpunktes nicht hervorrufen könnte. Die aktiv oder passiv erzeugten Spannungen irgend eines Muskels streben alle zwischen seinen Insertionspunkten liegenden Körperteile durch Kräftepaare zu drehen. Ebenso gruppieren sich auch die äußeren Kräfte, wenn sie einen Körperteil zu drehen bestrebt sind, zu Poinsot'schen Kräftepaaren, mit denen sie auf ihn einwirken. Halten sich alle an einem Körperteile angreifenden Kräftepaare das Gleichgewicht, dann tritt keine Bewegung ein, der Körper befindet sich in Ruhe, wenn er an irgend einer Stelle mit einem festen

1) Fischer: Der Gang des Menschen, III. T. Betrachtungen über die weiteren Ziele der Untersuchung und Ueberblick über die Bewegungen der unteren Extremitäten. Abh. d. math. phys. Kl. d. kgl. sächs. Ges. d. Wissensch. Bd. XXVI, Nr. 3. Leipzig 1900.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Hindernis, z. B. dem Boden in Berührung ist. Durch die Kontraktion oder Spannungsänderung eines Muskels kommen gleichsam neue Kräftepaare hinzu, wodurch das früher bestandene Gleichgewicht gestört ist, es muss dann Bewegung erfolgen. Die Art der Bewegung wird, abgesehen von der Größe und Massenverteilung innerhalb eines Körperteiles (Lage des Schwerpunktes, Größe der Trägheitsmomente), besonders beeinflust durch seine Beziehungen zum Gesamtkörper, — also von der Lage eines jeden Körperteiles innerhalb des Gesamtkörpers und der Art der Gelenkverbindungen mit dem übrigen Körper. Eine weitere Modifikation der Bewegung kommt daher, dass durch jede Gelenkbewegung auch noch andere Muskeln, als die direkt in Thätigkeit versetzten, passiv in ihrer elastischen Spannung beeinflusst werden; ferner kommt es neben der Stellungsänderung der einzelnen Körperteile im Raume zu einer Aenderung der von den äußeren Kräften bedingten Kräftepaare. Es wird also die Bewegung nicht auf jene Körperteile beschränkt bleiben, welche direkt zwischen den Insertionspunkten des thätigen Muskels liegen, sie wird sich vielmehr auch auf die übrigen Abschnitte des menschlichen Körpers erstrecken, weil ein Körperteil bei einer Bewegung seiner Gelenkenden auf die benachbarten Gelenkkörper einen Druck ausübt, der gleich einer äußeren Kraft ein bestimmtes Drehungsbestreben besitzt. Somit werden durch die Aktion eines einzigen Muskels auch solche Muskeln eine Spannungsänderung erfahren, welche scheinbar ganz außerhalb seines Wirkungskreises liegen, wie Fischer[1]) bereits an anderer Stelle ausführlich dargethan hat.

Dadurch, dass durch die im Laufe der Bewegung sich fortwährend ändernde Muskelspannung der Bodendruck eindeutig bestimmt ist, darf nicht der umgekehrte Schluss gezogen werden, dass die Kenntnis des Druckes Aufschluss gäbe über die Thätigkeit der verschiedenen Muskeln beim Gehakt, weil wir den gleichen Bodendruck durch Aktion der verschiedensten Muskelkombinationen hervorzubringen im stande sind. Zwischen allen das Bewegungsgesetz des menschlichen Körpers charakterisierenden Größen und den dabei wirkenden inneren und äußeren Kräften bestehen bestimmte Beziehungen, die in der Differentialgleichung der Bewegung zum Ausdruck kommen. Diese Bewegungsgleichungen geben nach Fischer im Prinzipe die Möglichkeit, aus dem Verlaufe der Bewegung auf die Thätigkeit der Muskeln zu schließen. Die Bewegungsgleichungen geben zunächst bloß die Momente der resultierenden Kräftepaare für jeden Körperteil an, aus denen durch weitere

1) Fischer: Beiträge zu einer Muskeldynamik, I. Abh. Ueber die Wirkungsweise eingelenkiger Muskeln. Abh. d. math. phys. Kl. d. kgl. sächs. Ges. d. Wissensch. Bd. XXII, Nr. 2. Leipzig 1895.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Untersuchungen die Spannungen der verschiedenen einzelnen Muskeln, sowie die Rolle der einzelnen Muskeln beim Gehen abgeleitet werden sollen. Dazu muss genau bekannt sein, mit welchen Drehungsmomenten die äußeren Kräfte und jeder Muskel bei beliebiger Spannung in den verschiedenen, aufeinanderfolgenden Haltungen des Körpers beim Gehen auf die einzelnen Körperabschnitte einwirken. Fischer glaubt, dass man ohne Berücksichtigung der Bewegungsgleichung niemals zu einer vollkommen einwurfsfreien Kenntnis der Muskelthätigkeit beim Gehen kommen wird. Man muss Fischer vollkommen zustimmen, wenn er sagt, dass die lokale Reizung einzelner Muskel oder Muskelgruppen, oder die Reizung bestimmter Stellen der Großhirnrinde, oder die Beobachtung von Bewegungsanomalien uns keine erschöpfende Kenntnis von den Wirkungen eines Muskels auf den Bewegungsapparat des ganzen Körpers vermittelt, weil es sich dabei immer nur um einen engbegrenzten Spezialfall unter ganz bestimmten mechanischen Bedingungen handelt, der nach dem oben Auseinandergesetzten nicht verallgemeinert werden darf. Ganz abgesehen von den Wirkungen, welche die Kontraktion eines Muskels auf ganz entfernt liegende ausübt, ist der Effekt einer jeden Muskelaktion wesentlich abhängig von der jeweiligen Stellung des Körpers, durch welche das mechanische Verhalten der Körperteile den angreifenden Kräften gegenüber bestimmt ist. Die verschiedenen Fälle, welche bei einer vollständigen Untersuchung der Funktion eines einzigen Muskels möglich sind, sind wegen ihrer ungeheueren Zahl empirisch nicht zu bestimmen, und doch müssten sie alle bekannt sein, wollte man die gewonnenen Resultate auf die Gangbewegung übertragen. Auch darin muss ich Fischer vollkommen zustimmen, wenn er hervorhebt, dass die klinische Untersuchung der Bewegungsstörungen nach Lähmungen oder Atrophie einzelner Muskel und ganzer Muskelgruppen nicht im stande ist, ein klares Bild der normalen Muskelthätigkeit zu liefern. Man erhält dadurch nur ein allgemeines Urteil über die Art der Bewegung, welche ein Muskel verursacht, man erfährt aber nichts über die Spannung, die der Muskel haben muss, um die Bewegung in bestimmter Weise zu beeinflussen. Meiner Meinung nach kann man sich aus der Beobachtung der Bewegungsstörungen schon deshalb keinen richtigen Begriff von der normalen Thätigkeit der nicht funktionierenden Muskel machen, weil es sich dabei niemals um die Bewegungen handelt, welche nur ein Muskel bedingt, sondern wir haben es immer mit einer komplizierten koordinierten Bewegung zu thun, deren einzelne bestimmenden Faktoren uns nicht genügend bekannt sind. Es ist gleichsam eine uns der Größe nach unbekannte Komponente, aus einer uns unbekannten Summe ausgefallen, und die noch vorhandene gestörte Funktion ist ein der Größe nach unbekannter Rest der früher vor-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

handenen Summe. Da die Lähmung (der Einfachheit halber sei eine „schlaffe" angenommen) eines Muskels in erster Linie eine Spannungsänderung sämtlicher Antagonisten bedingt, so fungieren diese unter ganz anderen Bedingungen als früher; da fragt es sich nun, welcher Teil der Bewegungsstörung ist auf Kosten der veränderten Antagonistenfunktion zu setzen, und welcher Teil ist reine Ausfallserscheinung der fehlenden Kontraktion des gelähmten Muskels an sich. Dazu kommt aber weiter noch, dass neue vikariierende Funktionen sich einstellen, dass neue Koordinationen zur Ausführung der durch die Lähmung erschwerten Bewegung zur Anwendung kommen, wodurch die restierenden Ausfallserscheinungen eine so komplizierte Basis erhalten, dass man daraus unmöglich sagen kann, wie der gelähmte Muskel normaliter wirkt.

Für den Endeffekt einer Muskelaktion ist ferner der Bewegungszustand der einzelnen Körperteile durchaus nicht gleichgiltig; wir können, wie Fischer mit Recht betont, dieselbe Bewegung in einem Gelenke, welche ein Muskel durch seine Kontraktion von der Ruhelage aus hervorrufen würde, auch dadurch erzielen, dass wir auf einen entfernten Körperteil, z. B. durch äußere Kräfte einwirken. Daraus folgt aber, dass man aus der Art der Bewegung nicht ohne weiteres einen Schluss auf die Thätigkeit irgend eines Muskels ziehen kann. Es ist dazu eine genaue Kenntnis des ganzen Bewegungsvorganges, namentlich der gegenseitigen Beeinflussung der einzelnen Körperteile und Muskeln, ferner des momentanen Bewegungszustandes und der Haltung des Körpers, sowie der augenblicklichen Wirkung aller äußerer Kräfte nötig, wenn man die Rolle der einzelnen Muskeln oder auch nur der größeren Muskelgruppen an dem Zustandekommen der Gehbewegung aufdecken will. Alles das soll die Bewegungsgleichung nach Fischer's Meinung leisten können. Ich glaube nicht, dass sich durch die Bewegungsgleichung eine vollkommene Erkenntnis nach dieser Richtung hin wird ermitteln lassen, weil dazu die genaue Kenntnis des jeweiligen Spannungszustandes aller Muskel nötig wäre. Dieser wird sich aber meiner Meinung nach niemals hinreichend genau bestimmen lassen, und ohne eine solche Kenntnis scheint das Problem nicht lösbar zu sein.

Wenn wir das Verhalten der Beine während eines Doppelschrittes im allgemeinen betrachten, so unterscheiden wir bekanntlich den Zeitraum des Aufstehens und Schwingens, wobei der letztere genau um so viel kürzer ist, als der erste die Dauer eines einfachen Schrittes übertrifft, so dass es einen kurzen Zeitraum giebt, während welchem beide Beine auf dem Boden aufstehen. Während beider Perioden ändert das Bein fortwährend seine Gestalt, und diese Gestaltveränderungen zeigen in der Projektion auf die Gangebene nachstehenden Verlauf. Zu Beginn der Periode des Schwingens ist das

Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

schwingende Bein mit gebeugtem Knie stark nach rückwärts geneigt; sein Oberschenkel geht durch die vertikale Lage, kurz nachdem sich das andere Bein mit ganzer Sohle auf den Boden aufgestellt hat und behält diese Vorwärtsdrehung bis kurze Zeit vor den Beginn der Abwicklung des aufstehenden Fußes, um sich dann für eine kurze Zeit parallel fortzubewegen und später ein wenig nach rückwärts zu drehen. Vor seinem Aufsetzen auf den Boden erfolgt dann eine neue Drehung nach vorn, so dass er im Momente des Aufsetzens das Maximum der Vorwärtsbewegung zur Vertikalen erreicht hat. Der Unterschenkel dreht sich dagegen so lange nach rückwärts, bis der Oberschenkel die Vertikale passiert, bis dahin nimmt also die Beugung im Knie zu und erreicht hier ihr Maximum. Von da ab wird sie wieder geringer, weil dann der Unterschenkel sich mit größerer Geschwindigkeit nach vorn bewegt als der Oberschenkel, die Folge davon ist eine ziemlich energische Streckung des Beines. Zur Zeit, wo der Oberschenkel nach der kurzen Rückwärtsdrehung sich wieder nach vorn zu drehen beginnt, bewegt sich der Unterschenkel mit größerer Geschwindigkeit nach rückwärts, so dass das Bein mit leicht gebeugtem Knie aufgesetzt wird. Die Projektion der Fußbewegung auf die Gangebene zeigt während der Zeit des Schwingens annähernd dieselben Bewegungen wie die des Unterschenkels, aber es treten dabei auch Bewegungen im Fußgelenke ein, indem der Fuß mit Ausnahme einer ganz geringen Zeit dorsal flektiert ist. Während der Ober- und Unterschenkel in der Periode des Schwingens nur wenig von der parallelen Lage zur Gangebene abweichen, sind die seitlichen Bewegungen des Fußes größer. Sie müssen es schon wegen der Schrägstellung der Fußgelenksaxen sein, außerdem sind nach v. Meyer's Angaben die seitlichen Bewegungen des Oberschenkels während des Schwingens nicht gar so gering, v. Meyer führt sie zum Teile auf die schräge Stellung des Oberschenkels in der Mittellage des Gelenkes zurück. Während der Periode des Aufstehens eines Beines führt sein Oberschenkel zuerst eine Drehung nach rückwärts aus, so lange, bis das andere Bein sich auf den Boden aufsetzt. Während des Aufstehens beider Beine bewegt er sich wieder nach vorn, er bildet mit der Vertikalen den größten Winkel nach rückwärts, während das Bein auf dem Boden aufsteht; sein größter Winkel nach vorn wird im Momente des Aufsetzens auf den Boden erreicht. Der Unterschenkel dreht sich während der ganzen Zeit mit wechselnder Geschwindigkeit nach rückwärts, wodurch Bewegungen im Kniegelenke bedingt werden. Im Anfang nimmt die Beugung, mit der das schwingende Bein aufgesetzt wurde, so lange zu, bis sich der Fuß mit ganzer Sohle aufstellt; von da ab findet Streckung des Beines statt bis zu dem Momente, in dem sich der Fuß vom Boden abzuwickeln beginnt, wo eine neuerliche starke Beugung einsetzt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Da in der Periode des Aufstehens des Beines dem Fuße eine wesentliche aktive Rolle zur Hervorbringung der Gangbewegung zukommt, ist es nötig, die Fußbewegung während dieser Periode genauer zu untersuchen. Zuerst dreht sich der Fuß um einen nahezu festen Punkt seiner Hacke, dann bleibt er längere Zeit fast in Ruhe, indem er mit ganzer Sohle aufsteht und wickelt sich hierauf vom Boden ab. Während der ersten Periode beschreibt sein Schwerpunkt mit abnehmender Geschwindigkeit einen nach unten und hinten konkaven Kreisbogen; im zweiten Bewegungsabschnitt bleibt er fast an demselben Ort, und während des dritten bewegt er sich mit zunehmender Geschwindigkeit auf einer nach vorn und unten konkaven Cykloidbahn von hinten unten nach vorn oben. Der Mittelpunkt des ersten Fußgelenkes beschreibt eine ähnliche Bahn, entsprechend dem größeren Abstande vom Drehpunkte sind die Bahnabschnitte etwas gestreckter und ausgedehnter als jene des Schwerpunktes. Aehnlich verhält sich auch die Fußspitze in ihrer Bewegung, aber sie dreht sich während des Aufstehens mit ganzer Sohle noch etwas weiter nach unten, ferner ist die Cykloide kürzer und verläuft von hinten oben nach vorn unten. Der Fuß dreht sich also während der ganzen Zeit mit wechselnder Geschwindigkeit von hinten nach vorn, während des Aufstehens mit ganzer Sohle ist sie aber kaum merklich. Da die Drehung des Fußes zu Anfang der Periode des Aufstehens schneller erfolgt als die gleichsinnige Bewegung des Unterschenkels, so tritt zuerst Plantarflexion des Fußes ein, in der Mitte der Periode des gleichzeitigen Aufstehens beider Beine kommt es zur Dorsalflexion, welche nach dem ersten Teil der Periode des Abwickelns von einer kräftigen neuen Plantarflexion abgelöst wird, welche bis zum Ablösen des Fußes vom Boden bestehen bleibt.

Aus den gegenseitigen Bewegungen der einzelnen Extremitätenabschnitte lassen sich die Bahnkurven der einzelnen Gelenksmittelpunkte ableiten. Berücksichtigt man dann noch die früher beschriebenen Drehungen der Hüftlinie, so kann man auch die Bahnkurven der Gelenksmittelpunkte des schwingenden Beines ableiten. Der Kniegelenksmittelpunkt bewegt sich vom Beginne des Aufsetzens des Beines fast bis zur Zeit des Aufstehens mit ganzer Sohle nahezu horizontal vorwärts, nur kurz vor dem Aufstehen mit ganzer Sohle steigt seine Bahn etwas an. Die Horizontalbewegung rührt daher, weil der Kniegelenksmittelpunkt zufolge der Drehung des Unterschenkels während dieser Zeit einen Kreisbogen von unten hinten nach oben vorn beschreiben würde, gleichzeitig aber der Mittelpunkt des Fußgelenkes seinen Kreisbogen von hinten oben nach vorn unten ausführt, so dass als Resultierende die annähernd horizontale Vorwärtsbewegung übrig bleibt. Während des Aufstehens mit ganzer Fußsohle beschreibt dann der Kniegelenksmittelpunkt einen zuerst horizontalen,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

dann nach vorn und unten gerichteten Kreisbogen, weil während dieser Zeit die Bewegung des Fußgelenkes wegen ihrer geringen Größe nicht in Betracht kommt, so dass die Bahn wesentlich nur durch die Bewegung des Unterschenkels bestimmt wird. Während der Zeit der Abwicklung des Fußes bewegt sich der Mittelpunkt des Kniegelenkes annähernd horizontal fort, weil die Drehungen von Unterschenkel und Fuß zwei nahezu gleich große entgegengesetzt gerichtete Vertikalkomponenten haben, so dass nur die Vorwärtsbewegung übrig bleibt. Nur in der zweiten Hälfte dieser Periode bewegt sich der Kniegelenksmittelpunkt nach abwärts, weil da die Abwärtsbewegung des Kniegelenkes die Aufwärtsbewegung im Fußgelenke überwiegt. Die Ausdehnung der Bahnkurven des dritten Abschnittes ist gleich der Summe der Gesamtausdehnungen der Bahnkurven der beiden ersten Abschnitte. Der Hüftgelenksmittelpunkt legt die schon früher beschriebene, doppelt gekrümmte Raumkurve zurück; in der Projektion auf die Gang- und Horizontalebene hat die Bewegung die Form einer Wellenlinie, deren nähere Beschreibung gleichfalls früher gegeben wurde, so dass dieser Hinweis genügt.

Da der Oberschenkel des schwingenden Beines im Momente des Aufsetzens am weitesten nach vorn von der Vertikalen sich befindet und der Unterschenkel zu dieser Zeit gleichfalls nur wenig von seiner maximalen Abweichung nach vorn entfernt ist, so muss der Mittelpunkt des Hüftgelenkes zu dieser Zeit seinen tiefsten Stand erreicht haben. Aus dem Verhalten des Kniegelenksmittelpunktes und der geringen Drehung des Oberschenkels während der Zeit, in welcher sich der Fuß um einen Punkt der Hacke dreht, ergiebt sich während dieses Zeitabschnittes für den Hüftgelenksmittelpunkt eine ähnliche Kurve, wie für den Kniegelenksmittelpunkt. Die Bahn steigt bis zum Knotenpunkte an und erhebt sich in der Zeit des Aufstehens bis zum Wellenberg, weil der von hinten nach vorn geneigte Kreisbogen des Hüftgelenksmittelpunktes durch die gleichzeitige Bewegung des Kniegelenkes in die Länge gezogen wird. Während sich der Fuß abwickelt, schreitet die Vorwärtsdrehung des Hüftgelenksmittelpunktes fort. Da sich das Kniegelenk gleichzeitig annähernd horizontal bewegt, so kommt der absteigende Schenkel der Wellenlinie zu stande, dessen Steilheit immer mehr und mehr abnimmt, um im Momente des Aufsetzens des anderen Beines ebenso wie die Kurve des Kniegelenksmittelpunktes horizontal zu verlaufen. In der Zeit der Abwicklung des Fußes erhebt sich der Hüftgelenksmittelpunkt, weil sich jetzt der Oberschenkel in der entgegengesetzten Richtung dreht; da sich gleichzeitig das Kniegelenk nur wenig senkt, so kommt das auf den tiefsten Punkt folgende, ansteigende Stück der Wellenlinie zu stande. In den beschriebenen Bewegungen finden wir eine Kombination der einzelnen Formen des Meyer'schen Vertikalbogens wieder.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

In der Periode des Schwingens zeigt das Bein folgendes Verhalten. Zu Anfang bewegt sich der Oberschenkel von hinten nach vorn gegen die Vertikale zu, weshalb sich der Kniegelenksmittelpunkt senken muss, denn die gleichzeitige Erhebung des Hüftgelenksmittelpunktes ist nur sehr gering. Der Kniegelenksmittelpunkt bewegt sich also in der ersten Zeit des Schwingens, in der schon während der Zeit des Abwickelns bestandenen Richtung nach abwärts fort. Da nun bald darauf der Oberschenkel die Vertikalstellung passiert, um noch weiter nach vorn zu schwingen, und auch der Hüftgelenksmittelpunkt in Bewegung nach aufwärts begriffen ist, erreicht der Kniegelenksmittelpunkt rasch seine tiefste Stellung und schwingt dann nach aufwärts, trotzdem später der Hüftgelenksmittelpunkt sich wieder senkt, weil die Senkung zunächst von der Aufwärtsbewegung des Oberschenkels überkompensiert wird. Schließlich gleichen sich die beiden Momente aus, der Kniegelenksmittelpunkt erreicht seinen höchsten Stand und bewegt sich dann ebenso nach abwärts wie der Hüftgelenksmittelpunkt, weil der Oberschenkel zu dieser Zeit nur eine geringfügige Drehung ausführt. Die Kniegelenksbahn ist also eine in der Gangrichtung verzerrte Wellenlinie. Die Bahn des Mittelpunktes des ersten Fußgelenkes verhält sich während des Schwingens umgekehrt wie die des zugehörigen Hüftgelenksmittelpunktes; wo diese ein Maximum hat, besitzt die andere ein Minimum und umgekehrt, es erklärt sich dies aus den Drehungen des Ober- und Unterschenkels.

Wenn wir die von Fischer gewonnenen Resultate über die wechselnde Haltung der unteren Extremitäten in den einzelnen Bewegungsphasen mit den diesbezüglichen Angaben der Brüder Weber vergleichen, so ergeben sich so bedeutende Differenzen, dass Fischer zu dem Resultate gelangt, die drei Grundprinzipien der von den Brüdern Weber aufgestellten Theorie des Gehens bestehen nicht zu recht. Infolgedessen ist auch die Weber'sche Theorie durch eine neue zu ersetzen, welche sich mit den Ergebnissen der Momentphotographie nicht im Widerspruche befindet. Carlet, Marey und andere Autoren hatten durch vollkommenere Untersuchungen gefunden, dass das schwingende Bein sich mit der Hacke zuerst aufsetzt, während die Brüder Weber ein Aufsetzen mit ganzer Sohle annahmen. v. Meyer wies diese Differenz der Angaben in das Bereich der Verschiedenheiten des individuellen Ganges, indem er die Möglichkeit beider Arten von Beobachtungen erklärt und anerkennt. Jedenfalls geht aber aus den neueren Untersuchungen einschließlich der Fischer'schen hervor, dass die Momentphotographie nur das Aufsetzen mit der Hacke verzeichnet hat, es ist dies zum mindesten die häufigere Art, wie das schwingende Bein auf den Boden aufgesetzt

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wird. Andererseits kann nicht geleugnet werden, dass beim Gehen mit nach vorn übergeneigter Haltung, beim sogenannt flüchtigen Gange, ein Aufsetzen des Fußes mit ganzer Sohle oder sogar mit den vorderen Fußabschnitten erfolgt. Aus diesen Beobachtungsdifferenzen geht aber unzweifelhaft hervor, dass die Weber'sche Theorie des Gehens keine allgemeine Gültigkeit besitzen kann.

Die Brüder Weber hatten eine ganz andere (nach Fischer unrichtige) Vorstellung von der Bewegung des Unterschenkels als Fischer. Nach ihren Angaben setzt sich das Bein mit nach rückwärts gebeugten Unterschenkel auf, während in Fischer's Momentaufnahmen das schwingende Bein mit nach vorn gestreckten Unterschenkel aufgesetzt wird. Die Brüder Weber erachteten es für unbedingt notwendig, dass in dem Momente, in welchem ein Bein seine Schwingung beginnt, das andere vertikal stehe. Es sollte eine Lotlinie vom Hüftgelenksmittelpunkt denjenigen Punkt der Fußsohle treffen, mit dem sie sich in diesem Momente gegen den Fußboden stemmt. Es ist dies das Weber'sche „Prinzip der anfänglichen Stellung". Dieses trifft nach Fischer's Aufnahmen nicht einmal annähernd zu. Das auf dem Boden sich aufsetzende Bein ist zu dieser Zeit weit nach vorn gestreckt und die Lotlinie vom Hüftgelenksmittelpunkte fällt weit hinter den eben aufgesetzten Fuß. Das Prinzip der anfänglichen Stellung führte die Brüder Weber auch zu ihrer falschen Auffassung bezüglich der Stellung des Unterschenkels und Fußes im Momente des Aufsetzens auf den Boden. Ebenso hat auch das zweite Weber'sche „Prinzip des Maßes der Anstrengung" einer strengen Prüfung nicht standhalten können. Die Brüder Weber glaubten, dass die Schenkelköpfe fast geradlinig fortbewegt würden und nur kurz vor der Vertikalstellung des aufgesetzten Beines etwas fallen könnten, was sofort wieder ausgeglichen werden sollte. Sie glaubten ferner, die Streckkraft des Beines sei stets der Schwere des Körpers nahezu gleich, so dass der Körper während des Gehens weder beträchtlich fallen noch steigen könnte. Die Fischer'schen Untersuchungen zeigen aber, dass von einer horizontalen Fortbewegung der Schenkelköpfe nicht die Rede sein kann und aus dem Verhalten der Gesamtschwerpunktsbahn des menschlichen Körpers folgte, dass der normale Bodendruck (gleichbedeutend mit der Weber'schen Streckkraft) sich um die Hälfte des Körpergewichtes vermindern, respektive vergrößern kann. Damit ist auch das zweite Weber'sche Prinzip unhaltbar geworden, aber auch das dritte „Prinzip der Richtung der Streckung" besteht in Wirklichkeit nicht. Danach sollte die Richtung der Streckkraft immer durch den Mittelpunkt (Gesamtschwerpunkt) des Körpers und den Fußpunkt des stemmenden Beines gehen, das heißt aber, die Rich-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

tung des Bodendruckes geht in ihrer Verlängerung immer durch den Gesamtschwerpunkt; das ist aber nicht der Fall. Ferner trifft es nach den Fischer'schen Untersuchungen nicht ganz zu, dass das Knie des aufstehenden Beines dann das Maximum der Beugung hat, wenn der Mittelpunkt des Schenkelkopfes senkrecht über der Ferse steht. In Fischer's Photographien besteht die stärkste Beugung während des Aufstehens des Fußes mit ganzer Sohle, da fällt aber eine Lotlinie vom Mittelpunkte des Schenkelkopfes noch hinter den aufstehenden Fuß. Von da ab beginnt aber schon die Streckung des Beines. Ferner glaubten die Brüder Weber, dass die später eintretende Streckung im Kniegelenke des aufstehenden Beines bis ans Ende der Periode des Aufstehens anhalte, während nach Fischer das Bein in stärkster Beugestellung des Kniegelenkes den Boden verlässt. Das schwingende Bein soll nach den Angaben der Brüder Weber erst gegen Ende der Schwingung willkürlich gestreckt werden. Dem widerspricht Fischer's Beobachtung, dass das schwingende Bein nur im Anfange der Periode für kürzere Zeit gebeugt ist und während des größten Teiles der Schwingungsdauer gestreckt ist. Erst gegen Ende dieser Periode wird es leicht gebeugt.

Um die Drehungsmomente der Schwere und der Muskeln während des Ablaufes der einzelnen Bewegungsphasen für alle Abschnitte der Beine kennen zu lernen, um daraus die spezielle Muskelthätigkeit zu erschließen, ist es nötig, für jeden Augenblick eine ganz genaue Kenntnis von der jeweiligen Lage der einzelnen Abschnitte der Beine zu haben, aus der dann die Winkelgeschwindigkeiten und Winkelbeschleunigungen der Drehungen abgeleitet werden müssen. Die aufeinanderfolgenden Stellungen der einzelnen Körperabschnitte sind durch die räumlichen Koordinaten genügend bekannt, man könnte mit ihrer Hilfe auch die Drehungen ermitteln. Da man aber für jede Lage eines Extremitätenabschnittes im Raume mit den sechs Koordinaten der beiden den Abschnitt begrenzenden Gelenksmittelpunkte manipulieren müsste, so wäre diese Art der Bestimmung eine sehr zeitraubende und komplizierte. Fischer verwendet deshalb die Winkelgrößen, welche die Projektionen der Längsaxen der einzelnen Extremitätenabschnitte auf die Ebenen des rechtwinkligen räumlichen Koordinatensystemes mit entsprechend gewählten Vertikalen bilden. Denn die Lage eines jeden Beines ist durch die Lage der Längsaxen seiner Abschnitte genau bestimmt. Es genügen zwei Winkelgrößen für jede Längsaxe, um ihre Stellung im Raume ausreichend festzustellen. Die für diese Winkel in den einzelnen Ebenen des räumlichen Koordinatensystemes gemessenen Koordinaten nennt Fischer Winkelkoordinaten. Um auch die Winkelgrößen für diejenigen Zeitmomente kennen zu lernen, welche nicht durch die

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Momentphotographie direkt festgelegt worden sind, hat Fischer Kurven konstruiert, deren Abscissen die der Zeit proportionalen Strecken der 31 Bewegungsphasen enthalten, wärend die Ordinaten die für jede Phase gemessenen Winkelkoordinaten darstellen. Diese Diagramme, welche ein sehr leicht zu überblickendes Bild vom Verhalten der unteren Extremitäten geben, bestätigen vollkommen die schon dargelegten Beobachtungen über die wechselnde Haltung der Beine während eines Doppelschrittes. Ferner wurden auch die Koordinaten der Gelenkwinkel zweier benachbarter Extremitätenabschnitte abgeleitet und in Kurvenform dargestellt, welche das bereits über die Beugung und Streckung der einzelnen Gelenke Gesagte direkt abzulesen gestatten.

Damit habe ich einen Ueberblick über die bisher erschienenen Braune-Fischer'schen Untersuchungen über den Gang des Menschen gegeben. Wir konnten die Elemente des Ganges nach Hermann v. Meyer auch in den Versuchs-Resultaten von Braune und Fischer zum großen Teile wiedererkennen, so dass wir die Meyer'sche Analyse des Ganges noch immer als zu recht bestehend anerkennen müssen, während sich die drei Grundprinzipien der Weber'schen Theorie des Gehens mit den Ergebnissen der Braune-Fischer'schen Untersuchungen nicht mehr im Einklange befinden. Die Fischer'schen Untersuchungen streben dem Ziele zu, die Rolle der einzelnen Muskeln für Zustandekommen der gesamten Gehbewegung aufzudecken. Ob dieses schwierige Problem wirklich lösbar sein wird, darüber werden uns die weiteren Untersuchungen Fischer's Aufklärung geben müssen. Aber selbst für den Fall, dass eine vollkommene Sicherstellung des Bewegungsanteiles jedes einzelnen Muskels nicht möglich wäre, so hat sich diese Fragestellung dennoch als äußerst fruchtbar erwiesen, weil zu ihrer Lösung eine genaue Kenntnis des ganzen Bewegungsvorganges vorausgesetzt werden muss, eine Forderung, welche die vorliegenden Arbeiten von Braune und Fischer schon zum großen Teile erfüllt haben. Es ist ein großes Verdienst der beiden Autoren, vor allem die räumliche Bewegung des menschlichen Körpers beim Gehen mit exakten Methoden untersucht zu haben. Ob den von Braune und Fischer bisher entwickelten Bewegungsgesetzen allgemeine Bedeutung zuerkannt werden muss oder soll, ist eine andere Frage, die zugleich auch darüber eine Entscheidung herbeiführen würde, ob es einen typischen Gang giebt oder nicht. Selbst wenn die Lösung aller von Braune und Fischer gestellten Fragen gelänge, so dürften wir meiner Meinung nach das so gefundene vollkommene Bewegungsgesetz erst dann verallgemeinern, wenn eine größere Anzahl von Nachuntersuchungen die Resultate von Braune und Fischer bestätigen würden; denn vorläufig handelt es sich, streng genommen,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

doch nur um die Analyse dreier Doppelschritte eines und desselben Individuums zu fast derselben Zeit. [97]

Physiologisches Institut Erlangen, Juli 1901.

J. Henle's Grundriss der Anatomie des Menschen.

Neu bearbeitet von Fr. Merkel. 4. Aufl. Braunschweig, F. Vieweg u. Sohn, 1901 8°. Atlas 498, Text 802 S.

Der Henle'sche Grundriss erscheint in der zweiten von Fr. Merkel besorgten Auflage in wesentlich veränderter Gestalt, die sich schon äußerlich dadurch ausdrückt, dass der Textband auf das doppelte des Umfanges angewachsen ist. M. sagt in dem Vorwort, dass er bei der vollständigen Umarbeitung des Buches, um es mit den neuesten Ergebnissen der Forschung im Einklang zu erhalten, sich bemühte, „es ebensowenig zu einem Repetitionskompendium herabsinken zu lassen, noch ein ausführliches Handbuch daraus zu machen"; es verdient nun wohl den Namen „Lehrbuch", aber es ist nur natürlich, dass der alte Name, unter dem es so gut bekannt ist, beibehalten wurde. Diesem neuen Charakter als Lehrbuch entsprechend hat der Herausgeber auch den einzelnen Abschnitten allgemeine Kapitel vorausgeschickt; sie reihen sich mit klarer Darstellung großer Gesichtspunkte würdig in die älteren Teile ein, welche in ihrer prägnanten Kürze erhalten sind. Das Buch, sagte Henle in seiner Vorrede, sollte vor allem ein Hilfsmittel sein, um am Präparate das Beschriebene aufzusuchen und es der Vorstellung einzuprägen; man kann wohl hinzufügen, auch ein Hilfsmittel, das früher gesehene dem Gedächtnis dauernder und klarer einzuprägen. Darüber hinaus strebt auch jetzt die Darstellung in den speziellen Teilen nicht. Gewiss mit Recht, denn mit noch so viel und schönen Worten kann Anatomie doch nicht gelehrt werden. Eine notwendige und willkommene Ergänzung der neuen Ausgabe bilden noch kurze Angaben über Altersveränderungen und häufiger zu beobachtende Variationen.

Als Anhang ist eine Anleitung zum Präparieren, ein Verzeichnis aller von der anatomischen Gesellschaft anerkannter Namen mit den Synonymen, die im Text ganz ausgemerzt sind, und endlich ein Register angefügt, das der dritten Auflage fehlte.

Der Atlas ist an Umfang verhältnismäßig wenig gewachsen, aber eine große Zahl von Tafeln ist durch bessere ersetzt worden; auch die Fortschritte der Reproduktionstechnik sind ausgenützt und ein besseres Papier verwendet worden. **W.** [90]

Ueber die Mikroflora der Schilfstengel im Gr. Plöner See.

Von **Dr. Otto Zacharias** (Plön).

An den Stengeln des gewöhnlichen Schilfrohres (*Phragmites*) kommt zu allen Jahreszeiten, aber namentlich in den Sommermonaten, eine ziem-

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Biologisches Zentralblatt

Jahr/Year: 1901

Band/Volume: 21

Autor(en)/Author(s): Fuchs R. F.

Artikel/Article: Der Gang des Menschen. 779-799