(Aus der Prüfstelle für Ersatzglieder Berlin.)

Die Rumpfbewegung der Kunstbeinträger und ihr Zusammenhang mit der konstruktiven Ausbildung der Kunstbeine.

Von

Dr.-Ing. Bruno Bloch-Berlin.

Mit 87 Abbildungen im Text.

(Eingegangen am 21. August 1918.)

I. Die früheren Untersuchungen der Gangbewegung. Die Rumpfbewegung des Gesunden.

Die früheren Untersuchungen über den menschlichen Gang beschäftigen sich durchweg mit dem gesunden Menschen. Schon früh sind nach dieser Richtung Untersuchungen von den Brüdern Weber¹⁾ angestellt worden, an die später Braune und Fischer²⁾ anknüpften. Letztere haben in einer sehr interessanten, in ihrem Buche ausführlich beschriebenen Weise aus Photogrammen eines gehenden Mannes rechnerisch die Bewegungen gewisser Punkte des Körpers beim Gehen in Beziehung auf ein dreiachsiges rechtwinkliges Koordinatensystem ermittelt. Bei den Versuchen, die sich allerdings nur auf ein einziges Individuum erstreckten, wurden diesem an den Füßen, den Unter-, Oberschenkeln, Unter-, Oberarmen und am Kopf Geißlersche Röhren befestigt, die in einem dunklen Raum mit rasch aufeinander folgenden Unterbrechungen zum Aufleuchten gebracht wurden. Die Röhren wurden, während der Mann ging, auf beiden Seiten mittels je zweier photographischer Apparate, die in einem Winkel von 60° zueinander standen, aufgenommen, so daß die Bilder die Lage der Röhren und somit auch der verschiedenen Körperteile in den aufeinander folgenden Phasen eines Schrittes zeigten. Aus diesen Photogrammen ließen sich durch Messungen die Koordinaten der Fußspitze, der Mittelpunkte der Fuß-, Knie-, Hüft-, Hand-, Ellbogen- und Schultergelenke sowie des Kopf-

¹⁾ Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge. Eine anatomisch-physiologische Untersuchung von den Brüdern Wilhelm Weber und Eduard Weber, Göttingen 1836. Neu herausgegeben in Wilhelm Webers gesammelten Werken, Band VI.

²⁾ Wilhelm Braune und Otto Fischer, Der Gang des Menschen, I. Teil, Leipzig 1895, und Otto Fischer, Der Gang des Menschen, II. Teil, Leipzig 1899.

scheitelpunktes mit Bezug auf ein feststehendes, dreiachsiges Koordinatensystem feststellen und hieraus wiederum die Koordinaten der Mittelpunkte zwischen den beiden Schultergelenken und den beiden Hüftgelenken.

Es zeigte sich dabei, daß bei dem normalen Gange des gesunden Menschen die einzelnen Teile des Körpers, vor allem auch der für die vorliegende Untersuchung allein interessierende Rumpf, relativ zu einem mit dem Körper gleichmäßig vorwärts bewegt gedachten Koordinatensystem geschlossene Raumkurven beschreiben, die sich aus den berechneten Koordinaten leicht kon-

Abb. 1.

struieren lassen. Die Bewegungen lassen sich am besten veranschaulichen, wenn man die Ausdehnungen der Raumkurven in den drei Koordinatenrichtungen unabhängig voneinander als Funktion der Zeit betrachtet. Die Koordinatenrichtungen wählt man mit Fischer am besten, wie aus Abb. 1 ersichtlich, also so, daß die X-Richtung in die Gangrichtung fällt, die Y-Richtung unter 90° zur Gangrichtung in der wagerechten Ebene (Frontalebene) liegt und die Z-Richtung senkrecht von unten nach oben geht.

Da hier nur die Bewegung des Rumpfes untersucht werden soll, genügt es, die Bewegungsdiagramme der beiden Schultergelenke und Hüftgelenke zu betrachten, da durch diese die Rumpfbewegung im wesentlichen bestimmt ist.

Diese Kurven sind unter Benutzung der von Fischer ausgerechneten Koordinaten in den Abb. 2—4 aufgezeichnet.

Fischer hat für den gesunden Menschen folgende Rumpfbewegungen ermittelt, die beim Gehen zu der gleichmäßigen Vorwärtsbewegung hinzukommen:

A. Parallelverschiebungen des Rumpfes.

1. In der X-Richtung (Gangrichtung), zweckmäßig als Wanderbewegung des Rumpfes zu bezeichnen.

Der Charakter dieser Bewegung läßt sich aus Abb. 2 erkennen, welche die Bewegungsdiagramme für die beiden Schultergelenke und die beiden Hüftgelenke enthält. Die Abszissen stellen die Zeit dar, und zwar ist die ganze Länge der Kurven gleich der Zeit eines Doppelschrittes, während die Ordinaten den bis zu dem betreffenden Zeitpunkt in der Gangrichtung zurückgelegten

Abb. 2. Relative Bewegung der Schulter- und Hüftgelenke des Gesunden in der Gangrichtung (X-Richtung) (Wanderbewegung).

Weg abzüglich des in der gleichen Zeit von dem mit gleichbleibender Geschwindigkeit vorwärts bewegten Koordinatensystem zurückgelegten Weges angeben. Die ganze Zeit eines Doppelschrittes ist in 26 Teile geteilt. Auf der Zeitachse sind die wichtigsten Phasen des Schrittes angemerkt, und zwar bedeutet

- R = Aufsetzen des rechten Beines
- L = „ „ „ linken „
- S_r = Beginn der Durchschwingung des rechten Beines
- S_l = „ „ „ „ linken „

Die O-Linie des Diagramms ist die wagerechte Projektion der Y-Z-Ebene. Die sich von der O-Linie nach oben erstreckenden Ordinaten bedeuten ein Vortreten und die nach unten gerichteten ein Zurückbleiben des betreffenden Gelenkpunktes gegenüber dem Koordinatensystem in der Gangrichtung zu den auf der O-Linie (X-Achse) angemarkten Zeiten.

Die vier Kurven zeigen einen wellenförmigen Verlauf, nach Art einer Sinuslinie, und zwar sind bei einem Doppelschritt zwei Maxima und zwei Minima vorhanden. Zu den Zeiten S_l und S_r, also beim Beginn der Schwingung der Beine, befindet sich der Rumpf in relativer Vorwärtsbewegung. Kurz nach-

dem die Schwingung begonnen hat, hört die Vorwärtsbewegung auf, der Rumpf bewegt sich wieder relativ zu dem Koordinatensystem rückwärts und hat seine hinterste Stellung erreicht, kurz bevor das Aufsetzen des schwingenden Beines stattfindet. Die Kurve ist bezüglich des nach vorn und des nach hinten gehenden Teiles nicht symmetrisch, vielmehr findet die Vorbewegung aus der äußersten Stellung hinten nach der äußersten Stellung vorn in einer kürzeren Zeit statt, als die Bewegung von vorn nach hinten. Das Verhältnis ist etwa 2 : 3. Die Vorwärtsbewegung beginnt kurz vor dem Aufsetzen eines Beines, der größte und steilste Teil der Vorbewegung liegt zwischen dem Aufsetzen eines Beines und dem Schwingungsbeginn des anderen Beines, also in der Zeit, wo beide Beine auf dem Boden aufstehen.

2. In der Y-Richtung (Frontalebene), zweckmäßig mit Schwenkbewegung zu bezeichnen.

Diese Bewegung ist in Abb. 3 gezeigt, in der die Kurven für die linke und rechte Seite, um sie besser gleichzeitig überschauen zu können, bei den Schulter-

Abb. 3. Relative Bewegung der Schulter- und Hüftgelenke des Gesunden in der Y-Richtung (Schwenkbewegung).

gelenken um 30 cm und bei den Hüftgelenken um 12 cm einander genähert sind. Die O-Linien sind Projektionen der zur X-Z-Ebene parallelen, durch die mittlere Lage der betreffenden Gelenkmitten gehenden Ebenen; die Richtung nach oben bedeutet eine Bewegung nach rechts, die Richtung nach unten eine Bewegung nach links.

Den Kurven der vier Gelenke ist gemeinsam, daß sie während eines Doppelschrittes nur ein Maximum und ein Minimum haben, es findet also während eines Doppelschrittes nur eine einmalige Bewegung nach links und eine einmalige Bewegung nach rechts statt. Wenn das rechte Bein etwa die Hälfte der Schwingbewegung ausgeführt hat, beginnt die Bewegung nach rechts und bei der entsprechenden Lage des linken Beines die Bewegung nach links; diese Punkte entsprechen also dem Maximum und Minimum. Während der Zeit des Aufstehens beider Beine bewegen sich die Gelenke durch ihre Mittellage. Der auf- und absteigende Teil der Kurven ist symmetrisch.

3. In der Z-Richtung (Heben und Senken), zweckmäßig Hebbewegung genannt.

Die Diagramme dieser Bewegung sind in Abb. 4 dargestellt. Um die in senkrechter Richtung weitauseinander liegenden Kurven besser miteinander vergleichen zu können, sind in der Abbildung die Kurven für die Hüftgelenke um 50 cm nach den Schultergelenken zu angehoben. Die Diagramme haben die Form von Sinus-Linien, die innerhalb eines Doppelschritts zwei Maxima und zwei Minima besitzen. Charakteristisch für die Kurven ist, daß das Minimum, also die tiefste Lage des Rumpfes, in beiden Fällen zwischen den Linien R und S₁ einerseits und L und S₂ andererseits erreicht wird, d. h. während beide

Abb. 4. Relative Bewegung der Schulter- und Hüftgelenke des Gesunden in der Z-Richtung (Hebbewegung).

Beine aufstehen. Der Verlauf der Kurve ist im übrigen ein symmetrischer, der steigende und der abfallende Teil nehmen je etwa die Hälfte der Zeit in Anspruch. Das Maximum der Kurve (größte Hebung des Rumpfes) liegt gerade in der Mitte zwischen dem Beginn der Schwingung und dem Aufsetzen eines Beines, also etwa in dem Zeitpunkt, in dem das schwingende Bein durch die senkrechte Lage geht, dann senkt sich der Rumpf wieder und erreicht die niedrigste Lage in dem Augenblick, in dem die beiden Beine in der Spreizstellung auf dem Fußboden aufstehen.

B. Drehungen des Rumpfes.

1. Drehung der Verbindungslinie der beiden Schultergelenke (Schulterlinie) und der Verbindungslinie der beiden Hüftgelenke (Hüftlinie) um ihre Mittelpunkte in einer wagerechten Ebene.

Eine solche Drehung läßt sich daraus erkennen, daß in Abb. 2 die Kurven der beiden Schultergelenke ebenso wie die Kurven der beiden Hüftgelenke nicht zusammenfallen oder äquidistant sind. An ihren Schnittpunkten stehen Schulter- bzw. Hüftlinie senkrecht zur Gangebene, je weiter die Kurven voneinander abstehen, desto stärker sind diese Linien gegen die Gangebene (X-Z-Ebene) geneigt.

Es ergibt sich besonders deutlich für die Hüftlinie, daß sie während eines Doppelschrittes eine einmalige Schwingung nach Art einer Sinuslinie

in der wagerechten Ebene ausführt. Vor dem Aufsetzen des rechten Beines etwa in dem Zeitpunkt, in dem der Rumpf am weitesten zurücksteht, ist das rechte Hüftgelenk am weitesten nach vorn gedreht. Während der nun folgenden Vorwärtsbewegung des Rumpfes dreht sich gleichzeitig das linke Hüftgelenk vor; eine kurze Zeit nach dem Abschwingen des linken Beines erreicht die Hüftlinie die Normallage (senkrecht zur Gangebene), dann folgt eine weitere Vordrehung des linken Hüftgelenkes, die kurz vor dem Aufsetzen des linken Beines wieder bei der weitesten Rückwärtslage des Rumpfes ihren größten Wert erreicht. Die nächste Normallage wird nach dem Abschwingen des rechten Beines erreicht. Der gesamte Ausschlag der Hüftgelenke von der hintersten bis zur vordersten Drehlage ist etwa 20 mm.

Bei dem Schultergelenk zeigen die Kurven Unregelmäßigkeiten, die offenbar auf ein unsymmetrisches Verhalten des Versuchs-Individuums zurückzuführen sind. Es ist aber zu erkennen, daß die Drehung der Schulterlinie ebenfalls nach einer Sinuslinie verläuft. Maximum und Minimum liegt an derselben Stelle wie bei der Drehung der Hüftlinie, nur in umgekehrter Folge, d. h. bei weitester Vorwärtsdrehung des rechten Hüftgelenks ist das rechte Schultergelenk am weitesten zurückgedreht und umgekehrt. Der Ausschlag ist ein wenig geringer.

2. Drehung der Schulterlinie und der Hüftlinie um ihre Mittelpunkte in einer senkrechten Ebene.

Diese Drehung läßt sich in ähnlicher Weise aus Abb. 4 erkennen wie die Drehung in der wagerechten Ebene aus Abb. 2. Der Verlauf ist für die Schulterlinie der Drehung der Hüftlinie in der wagerechten Ebene sehr ähnlich, nur ist der Ausschlag hier sehr klein, nicht über 5 mm.

Die Bewegung der Hüftlinie in der senkrechten Ebene läßt bei einem Doppelschritt je drei Maxima und Minima erkennen; der Gesamtausschlag ist ebenfalls nur gering, er beträgt etwa 10 mm.

3. Drehung der Verbindungslinie von Schulterlinienmitte und Hüftlinienmitte (Rumpflinie) um die Hüftlinienmitte als Drehpunkt, und zwar

a) um eine senkrecht zur Gangrichtung liegende Achse, also Neigung des Rumpfes nach vorn und hinten. Erkennbar ist diese Drehung aus Abb. 2; denkt man sich in dieser Abbildung die Kurven für die Bewegung der Schulter- und Hüftlinienmitten als arithmetische Mittel der Diagramme der betreffenden Gelenke eingezeichnet, so ergibt sich die Drehung der Rumpflinie aus den Differenzen der Ordinaten dieser Kurven. In Abb. 5 sind die Kurven der Schulter- und Hüftlinienmitten eingetragen, so daß sich die Rumpflinie ohne weiteres erkennen läßt. Sie wird durch eine Kurve dargestellt, die je zwei Maxima und Minima besitzt. Weiteste Vorwärtsneigung des Rumpfes findet kurz vor dem Aufsetzen eines Beines statt, weiteste Rückwärtsneigung kurz vor der Mitte des Schwingens eines Beines. Der Gesamtausschlag ist 25 mm.

b) um eine parallel zur Gangrichtung liegende Achse, also seitliche Neigung des Rumpfes. Diese Drehung ergibt sich entsprechend aus dem Verlauf der Kurven für die Schwenkbewegung der Mitten von Schulter- und Hüftlinie

gegeneinander. Die Bewegungen sind ähnlich denjenigen der Schulterlinie in der senkrechten Ebene. Gesamtausschlag 15 mm.

Die von den Kunstbeinträgern ausgeführten Rumpfbewegungen sind bisher noch nicht untersucht worden. Zum ersten Male sind wissenschaftliche Beobachtungen über den Gang von Kunstbeinträgern von du Bois-Reymond¹⁾ angestellt worden. Diese Untersuchungen beschränkten sich aber auf

Abb. 5. Wanderbewegung der Schulter- und Hüftlinienmitte beim Gesunden.

die Feststellung der Beinbewegungen und bezweckten, aus der Verschiedenheit der Beinbewegungen der untersuchten Kunstbeinträger ein Kriterium für die Beurteilung der Güte von Kunstbeinen zu gewinnen. Sie reichen aber für die Beurteilung des Ganges mit Kunstbeinen nicht aus, weil sie ein sehr wesentliches Kennzeichen des Ganges, nämlich die Rumpfbewegung, außer acht lassen.

II. Die Bedeutung der Rumpfbewegung des Gesunden für den Gang.

Bevor mit der Untersuchung der Rumpfbewegung des Kunstbeinträgers begonnen und ein Vergleich mit dem Gesunden durchgeführt werden kann, muß festgestellt werden, welche Bedeutung die im vorigen Abschnitt beschriebene Rumpfbewegung des Gesunden für den Gang hat, um einen Maßstab für den Vergleich mit der Rumpfbewegung des Amputierten zu gewinnen.

Bis zu den im vorigen Kapitel erwähnten Untersuchungen Fischers bestand ein Streit darüber, ob die Schwingung des Beines beim Gehen eine reine, nur durch das Gewicht hervorgerufene Pendelschwingung ist oder ob auch die Muskeln dabei mitwirken. Der Umstand, daß die Schwingung stets in der gleichen Weise erfolgt, auch wenn der Gehende nicht auf die Bewegung der Beine achtet, wurde zur Stützung beider Theorien herangezogen. Erst Fischer hat nachgewiesen, daß die Beinmuskulatur für die Schwingbewegung eine sehr erhebliche Rolle spielt.

Um zu diesem Ergebnis zu kommen, denkt sich Fischer den Ober- bzw. Unterschenkel von dem übrigen Teil des Körpers losgelöst und untersucht die auf die schwingenden Schenkel in jedem Augenblick einwirkenden äußeren

¹⁾ Über den Gang mit Kunstbeinen, R. du Bois-Reymond, Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1917, S. 645.

Kräfte. Wenn man zur Vereinfachung der Untersuchung die Schwingung als in einer Ebene erfolgend ansieht, also die nur geringe seitliche Schwankung vernachlässigt, so lassen sich diese Kräfte zusammensetzen zu einer im Schwerpunkt des Schenkels angreifenden Kraft, welche nach Größe und Richtung der Beschleunigung des Schwerpunktes proportional ist und drei Drehmomenten, nämlich dem Drehmoment der Schwere, dem Drehmoment der Effektivkräfte und dem Drehmoment der Muskelkräfte. Die Summe dieser drei auf eine wagerechte durch den Schwerpunkt des Schenkels gelegte Achse bezogenen Drehmomente muß gleich sein dem Produkt aus der Winkelbeschleunigung des Schenkels in dem betreffenden Zeitpunkt bei seiner Drehung um den Schwerpunkt und dem auf die Drehachse bezogenen Trägheitsmoment.

Aus den aufgenommenen Photographien ließen sich nun alle Größen der genannten Gleichung durch Messung und Rechnung finden, bis auf das Drehmoment der Muskelkräfte, so daß man die Größe dieses Drehmomentes für jeden Zeitpunkt der Schwingung aus der Gleichung berechnen konnte.

Die auf diese Weise ermittelten, durch die Muskeln auf den Oberschenkel während einer Schwingung ausgeübten Drehmomente sind in Abb. 6 graphisch als Funktion der Zeit dargestellt. Das Diagramm zeigt Mittelwerte aus den verschiedenen Fischerschen Versuchen. Die Werte oberhalb der O-Linie bedeuten Drehung entgegengesetzt der Uhrzeigerriechtung, die Werte unter der O-Linie Drehung in der Uhrzeigerriechtung.

Abb. 6. Drehmomente der Muskeln während der Schwingung des Oberschenkels.

Die Drehmomente müssen durch Kontraktion der an dem Oberschenkel angreifenden Muskeln oder durch Spannen der Gelenkbänder hervorgebracht werden, und damit steht wohl ein Teil der Relativbewegung der Hüft- und Schultergelenke gegenüber dem gleichmäßig vorbewegten Koordinatensystem in Zusammenhang, während ein anderer Teil einfach den Zweck hat, das Gleichgewicht des Körpers aufrecht zu erhalten oder Raum für das durchschwingende Bein zu schaffen, um ein Anstoßen am Fußboden zu verhindern.

Für die drei Koordinatenrichtungen gilt im einzelnen folgendes:

1. X-(Gang-)Richtung.

Kurz vor dem Aufsetzen eines Beines, also wenn das andere Bein am weitesten nach hinten gestreckt ist, beginnt die zusätzliche Vorbewegung des Rumpfes, insbesondere der Hüften; der größte Teil der Vorbewegung überhaupt findet statt, während beide Beine aufstehen, so daß im Augenblick des Abschwingens bei dem Schulter- und dem Hüftgelenk fast die vorderste Stellung erreicht ist. Wenn das Bein seine hinterste Streckstellung hat, sind die die Schwingung des Oberschenkels nach hinten begrenzenden Bänder des Hüftgelenks gespannt. Durch die während des Aufstehens beider Beine dann erfolgende starke Vorbewegung des Rumpfes wird diese Spannung der Bänder

noch erhöht, und zwar in solchem Maße, daß die Bänder im Augenblick des Abschwingens den Oberschenkel mit großer Kraft vorschleudern. Hierdurch erklärt sich wohl das sehr starke Drehmoment, mit dem die Muskeln und Bänder gerade beim Abschwingen des Beines (vgl. Abb. 6) wirken. Dieses Drehmoment nimmt bei der infolge des Schwingens rasch eintretenden Entspannung der Bänder sehr schnell ab, es erreicht die Null-Linie etwa in dem Zeitpunkte, in dem der Rumpf seine weiteste Lage nach vorn hat.

Inzwischen geht der Oberschenkel durch die senkrechte Lage hindurch und die Muskeln müssen, wie Abb. 6 zeigt, ein negatives (in der Uhrzeigerichtung wirkendes) Drehmoment erzeugen. Es kommen hierbei die hinter dem Hüftgelenk vorbeigehenden Streckmuskeln des Oberschenkels in Tätigkeit. Etwa gleichzeitig mit dieser Umkehrung der Richtung des Drehmomentes der Muskeln erfolgt auch die Umkehrung der Relativbewegung der Schulter- und Hüftgelenke, ein ursächlicher Zusammenhang zwischen diesen beiden Vorgängen ist aber kaum vorhanden, vielmehr findet die Rückwärtsbewegung des Rumpfes wohl nur statt, damit kurz vor dem Aufsetzen des schwingenden Beines die richtige Stellung erreicht wird, um in der oben angegebenen Weise durch erneute Vorbewegung eine Spannung der Gelenkbänder des anderen nunmehr abschwingenden Beines vornehmen zu können.

Die Wanderbewegung des Rumpfes scheint demnach in der Hauptsache den Zweck zu haben, durch Spannung der Hüftgelenksbänder und -muskeln das Abschwingen des Beines zu erleichtern.

Die von der Hüftlinie und der Schulterlinie ausgeführten Drehungen in der wagerechten Ebene sind wohl auf den Einfluß der an den betreffenden Gelenken angehängten Glieder zurückzuführen. Gerade beim Aufsetzen eines Beines hat die Hüftlinie eine solche Lage, daß das zu dem aufgesetzten Bein gehörige Hüftgelenk am weitesten vorn ist. Die Drehung erfolgt also dadurch, daß das Standbein das zugehörige Hüftgelenk zurückhält, während das schwingende Bein das zugehörige Hüftgelenk nach vorn zieht. Gleichzeitig dreht sich die Schulterlinie in umgekehrter Richtung, weil die Armschwingung stets in umgekehrter Richtung erfolgt als die Beinschwingung derselben Körperseite.

Eine Folge der Drehung der Hüftlinie ist eine Vergrößerung der Schrittlänge.

2. Y-Richtung.

Da Arme, Beine und Kopf eine beachtenswerte, von der Rumpfbewegung unabhängige seitliche Schwenkbewegung nicht ausführen, bedeutet die Schwenkbewegung des Rumpfes eine Verlegung des Gesamtschwerpunktes des Körpers nach rechts oder links um nahezu das gleiche Maß. Beim Aufstehen beider Beine ist die Mittellage vorhanden, beim Abschwingen eines Beines erfolgt die Schwenkung nach der entgegengesetzten Seite. Diese Verlegung des Schwerpunktes hat offenbar den Zweck, das abschwingende Bein zu entlasten und ein seitliches Umkippen des Körpers zu verhindern. Die Schwenkung braucht nur so groß zu sein, daß bei der in der Hauptsache durch die Schwerkraft erfolgenden Rückschwingung der Schwerpunkt gerade wieder die O-Linie schneidet, wenn das schwingende Bein aufgesetzt wird. Je nach der Schwingungsdauer des Beines wird demnach der Ausschlag der Schwenkbewegung ein verschieden

großer sein. Hiermit deckt sich die Beobachtung, daß die Schwenkbewegung um so kleiner wird, je rascher der Gang ist.

3. Z-Richtung.

Der leicht einzusehende Zweck der Hebbewegung des Rumpfes ist die Erleichterung des Durchschwingens der Beine. Der höchste Punkt der Diagramme (Abb. 4) liegt gerade in der Mitte der Schwingung der Beine, also in dem Zeitpunkte, in dem das schwingende Bein etwa durch die senkrechte Lage hindurchgeht und am meisten Gefahr besteht, daß der Fuß gegen den Boden anschlägt.

Auf die Drehung der Schulter- und Hüftlinie in der senkrechten Ebene sowie auf die Drehung der Rumpflinie soll, da diese Bewegungen nur klein sind, nicht näher eingegangen werden.

III. Die Ermittlung der Rumpfbewegung der Kunstbeinträger.

Kunstbeinträger führen beim Gehen, wie die Beobachtungen ergeben, ganz andersartige und erheblich größere Bewegungen insbesondere des Rumpfes aus als gesunde Menschen. Diese Bewegungen können in einzelnen Fällen auf besondere physiologische Einflüsse zurückzuführen sein, also z. B. auf eine Verlagerung gewisser Teile des Knochengerüsts als Folge der Amputation, eine ungewöhnliche Stumpfstellung (Abduktionsstellung), zu geringe Länge oder Beweglichkeit des Stumpfes usw., im allgemeinen sind sie aber die Folge des Ersatzes des natürlichen Beines durch ein in der konstruktiven Gestaltung abweichendes Kunstbein und des damit verbundenen Fortfallens gewisser Muskeln. Infolge dieser physiologischen und mechanischen Einflüsse ist es für den Kunstbeinträger insbesondere bei Oberschenkelamputation — und nur von solchen Fällen soll im folgenden die Rede sein — nicht möglich, einen dem normalen Gang des gesunden Menschen gleichartigen Gang zu erzielen, es werden immer gewisse für den Kunstbeinträger charakteristische Unterschiede vorhanden sein. Je schlechter die Konstruktion eines Kunstbeines ist, desto größer werden die Abweichungen des Ganges der Kunstbeinträger von dem Gange des Gesunden sein. Es werden sich jedoch zwei Arten solcher Abweichungen feststellen lassen, nämlich solche, die durch die Amputation und das Tragen eines Kunstbeines überhaupt und solche, die durch die Konstruktion des Kunstbeines bedingt sind. Je geringer die Abweichungen der letzterwähnten Art sind, je mehr also der charakteristische Gang des Kunstbeinträgers erreicht wird, als desto besser wird man unter Berücksichtigung etwa vorhandener besonderer physiologischer Einflüsse das Kunstbein zu bezeichnen haben.

Um die Rumpfbewegungen des Kunstbeinträgers und ihren Zusammenhang mit der konstruktiven Gestaltung der Kunstbeine festzustellen, wurden mit einer Anzahl am Oberschenkel amputierter Soldaten mit verschiedener Stumpfänge und mit verschiedenen Beinsystemen photographische Gangaufnahmen gemacht. Da für die Zwecke dieser Arbeit der von Fischer eingeschlagene Weg der Rechnung zu umständlich und zeitraubend war, wurden

die Bewegungen aus den Photogrammen zeichnerisch ermittelt. Zu diesem Zwecke wurde eine zur Untersuchung von Armbewegungen bereits erprobte Apparatur benutzt, die dem Verfasser von Herrn Professor Dr.-Ing. Schlesinger in der Prüfstelle für Ersatzglieder, Charlottenburg, zur Verfügung gestellt wurde.¹⁾ Die Apparatur bestand aus kleinen, an den zu beobachtenden Körperteilen zu befestigenden Glühlampen, in deren Stromkreis ein Stimmgabelunterbrecher eingeschaltet war, so daß die Lampen in rascher Folge aufleuchteten und dunkel wurden. Die Aufnahme dieser Lampen bei der Bewegung des Körpers in einem verdunkelten Raume mußte eine fortlaufende, aus ein-

Abb. 7.

Abb. 8.

zelnen Punkten bestehende Kurve ergeben. Da es sich lediglich um die Beobachtung der Rumpfbewegung handelte, wurden den Amputierten die Glühlampen an den beiden Hüftgelenken, den beiden Schultergelenken und den Mitten zwischen Schultergelenken und Hüftgelenken befestigt. Die Lampen wurden zu diesem Zweck auf Gurte aufgenäht, die um den Leib bzw. um die Achseln gelegt und mit Schnallen befestigt wurden (Abb. 7 und 8). Die so ausgerüsteten Leute wurden in einem dunklen Raume, während sie ohne Stock über ein Holzpodium, also auf glattem, ebenem Boden gingen, mit zwei gleichen photographischen Apparaten gleichzeitig von beiden Seiten aufgenommen.

¹⁾ Vgl. Merkblatt Nr. 13 der Prüfstelle für Ersatzglieder, Charlottenburg.

Außerdem wurde eine Aufnahme von hinten mittels einer Stereoskopkamera gemacht.

Um auf den Bildern feststellen zu können, welche Punkte der Kurven zu den verschiedenen Phasen der Beinbewegung gehören, wurden den aufzunehmenden Leuten an beiden Ober- und Unterschenkeln Geißlersche Röhren angebunden, in gleicher Weise, wie es von Fischer und von du Bois-Reymond bei ihren Untersuchungen gemacht wurde. Die Geißlerschen Röhren, die ebenfalls mit Unterbrechungen aufleuchteten, mußten unterhalb der Punktkurven Bilder der verschiedenen Stellungen der Beine während des Ganges ergeben.

Vier solcher Aufnahmen sind in den Abb. 9—20 gezeigt. Die Aufnahmen Abb. 9—11 und Abb. 12—14 zeigen denselben Amputierten — in Zukunft Amputierter I genannt — aber mit verschiedenen Kunstbeinen. Der Beinträger war am rechten Oberschenkel amputiert, Stumpflänge 23 cm vom Damngemessen, Körpergröße 176 cm, Körpergewicht 60 kg. Abb. 15—17 sind eine Aufnahme eines ebenfalls am rechten Oberschenkel Amputierten (Amputierter II) mit einer Stumpflänge von 19 cm, einer Körpergröße von 162 cm und einem Körpergewicht von 62 kg. Bei beiden Amputierten handelte es sich um Leute, die das Kunstbein schon einige Zeit trugen und anerkannt gute Kunstbeine besaßen, jedoch hatte der Amputierte I schon eine größere Übung im Gehen erlangt, auch war sein Stumpf kräftiger.

Zum Vergleich mit diesen Aufnahmen ist in den Abb. 18—20 eine gleiche Gangaufnahme eines gesunden Mannes gezeigt, der eine Körpergröße von 178 cm und ein Körpergewicht von 82 kg hatte.

Der Stimmgabelunterbrecher arbeitete mit einer Unterbrechungszahl von 35 pro Sekunde, während die Geißlerschen Röhren etwa 13 mal in der Sekunde aufleuchteten. Aus diesen Zahlen läßt sich die Dauer eines Schrittes und die Ganggeschwindigkeit feststellen, da ja die Länge eines Schrittes aus der Photographie ohne weiteres gemessen werden kann.

Aus den in der angegebenen Weise aufgenommenen Photogrammen kann man nun die Diagramme der Bewegungen des Rumpfes in den drei Koordinatenrichtungen durch folgende Überlegung gewinnen:

1. X-Richtung.

Das Stereoskopbild zeigt zwar die vollständige Raumkurve, und man könnte schon aus ihr allein die gewünschten Resultate erzielen, aber nur durch sehr schwierige und umständliche photographische Meßmethoden. Bei einiger Übung kann man angenäherte Werte aus den Stereoskopbildern auch dadurch erhalten, daß man sie im Stereoskop betrachtet und die Art und Größe der Bewegungen durch Vergleich mit den entsprechenden Aufnahmen des Gesunden abschätzt. Sehr schwierig, wenn nicht unmöglich ist diese Schätzung für die Bewegung des Rumpfes in der X-(Gang-)Richtung (Wanderbewegung) relativ zu dem mit gleichmäßiger Geschwindigkeit vorwärtsschreitenden Koordinatensystem, denn man müßte sich dazu in jedem Punkte der Kurve das bis dahin von dem System zurückgelegte Wegstück in Abzug gebracht denken. Man kann aber ein anschauliches Bild von der Wanderbewegung des Rumpfes aus den Seitenphotographien gewinnen, und zwar aus der Dichte der Punktfolge. Die

Abb. 9. Versuch Nr. 1. Aufnahme von rechts.

Abb. 10. Versuch Nr. 1. Aufnahme von links.

Abb. 11. Stereokopfaufnahme von hinten.

Abb. 12. Versuch Nr. 2. Aufnahme von rechts.

Abb. 13. Versuch Nr. 2. Aufnahme von links.

Abb. 14. Stereoskopaufnahme von hinten.

Abb. 15. Versuch Nr. 3. Aufnahme von rechts.

Abb. 16. Versuch Nr. 3. Aufnahme von links.

Abb. 17. Stereoskopaufnahme von hinten.

Abb. 18. Versuch Nr. 4. Aufnahme von rechts.

Abb. 19. Versuch Nr. 4. Aufnahme von links.

Abb. 20. Stereoskopaufnahme von hinten.

Punkte müssen, so lange eine gleichmäßige Vorwärtsbewegung des Körpers stattfindet, da der Unterbrecher gleichmäßig arbeitete, die gleiche, der Ganggeschwindigkeit entsprechende Entfernung voneinander haben. Folgen die Punkte in der Gangrichtung in kürzeren Zwischenräumen aufeinander, so ist daraus zu erkennen, daß der betreffende Teil des Körpers sich langsamer als mit der Ganggeschwindigkeit vorbewegt, während bei weiterer Entfernung der Punkte ein Voreilen des betreffenden Teiles des Körpers festzustellen ist.

Projiziert man die Mittlen der Punkte auf eine Wagerechte, so ergeben die auf der Wagerechten abgeschnittenen Stücke den in gleichen Zeiträumen, nämlich $\frac{1}{35}$ Sekunde zurückgelegten Weg. Zieht man dann von diesen Stücken

Abb. 21. Amputierter I. Amputierte (rechte) Seite.

Abb. 22. Amputierter I. Gesunde (linke) Seite.

den in der gleichen Zeit bei mittlerer Geschwindigkeit zurückgelegten Weg ab, so ergibt sich das Maß der Voreilung oder des Zurückbleibens während $\frac{1}{35}$ Sekunde in dem betreffenden Augenblick gegenüber der Stellung zu Beginn dieses Zeitraumes. Um das der Abb. 2 entsprechende Diagramm für den Gang des Amputierten zu erhalten, muß man demnach zu gleichen auf der Zeit-(X-) Achse abgetragenen Abzissen Ordinaten auftragen, von denen jede folgende um das so gefundene Maß größer bzw. kleiner ist als die vorhergehende. Der Anfangspunkt kann beliebig gewählt werden.

Die Konstruktion wurde für die Aufnahmen nach Abb. 9, 10 und Abb. 15, 16, also für beide untersuchten Individuen durchgeführt. Zur Erzielung größerer Genauigkeit wurden von den photographischen Platten zunächst vergrößerte positive Bilder hergestellt, und zwar wurde zur Vereinfachung der weiteren

Konstruktion die Vergrößerung so gewählt, daß das positive Bild gerade $\frac{1}{4}$ der natürlichen Größe hatte. Nun wurde auf diesen Bildern je ein voller Doppelschritt ausgewählt, es ergaben sich dafür bei dem ersten Versuche (Abb. 9, 10) 50 Punkte, bei dem dritten Versuch (Abb. 15, 16) dagegen 52 Punkte. Die Zeit eines Doppelschritts war also bei den beiden Amputierten um $\frac{2}{35}$ Sekunden verschieden. Der Deutlichkeit wegen wurde nur jeder zweite Punkt auf eine Wagerechte projiziert, so daß die ganze Strecke eines Doppelschrittes auf ihr in 25 bzw. 26 ungleiche Teile geteilt wurde (vgl. Abb. 21—24). Die Entfernung z. B. des n . Teilpunktes von dem Anfangspunkt gibt demnach in diesen Ab-

Abb. 23. Amputierter II. Amputierte (rechte) Seite.

Abb. 24. Amputierter II. Gesunde (linke) Seite.

bildungen den zurückgelegten Weg nach $\frac{2 \cdot n}{35}$ Sekunden an. (Die Abbildungen sind verkleinerte Wiedergaben.)

Es wurde jetzt die ganze Strecke des Doppelschritts in 25 bzw. 26 gleiche Teile geteilt; diese Teilpunkte entsprechen der Stellung eines mit gleichbleibender Geschwindigkeit vorbewegten Körpers, also etwa des Koordinatensystems, nach je $\frac{2}{35}$ Sekunden. Die Differenz zwischen den Entfernungen eines Teilpunktes der Abbildungen 21—24 vom Anfangspunkte und den Entfernungen des gleichnamigen Teilpunktes der gleichmäßigen Teilung vom Anfangspunkte ergab nun, je nach dem ob sie ein positives oder negatives Vorzeichen hatte, die Strecke, um die die betreffende Lampe in dem dem Teilpunkte entsprechenden Augenblick vorgeeilt oder zurückgeblieben war.

In Abb. 25 und 26 ist die Konstruktion für die rechte und linke Seite des Versuchs I (Amputierter I) für die Schultergelenk- und Hüftgelenkbewegung durchgeführt, in Abb. 27 und 28 für den Versuch III (Amputierter II).

Abb. 25. Wanderbewegung des Amputierten I. Rechte (amputierte) Seite.

Abb. 26. Wanderbewegung des Amputierten I. Linke (gesunde) Seite.

Von einer Konstruktion für den Versuch II wurde abgesehen, weil die Aufnahme derjenigen des Versuchs I außerordentlich ähnlich ist. Um die Bewegungen in der richtigen Größe zu erhalten, mußten die in der angegebenen Weise

erhaltenen Differenzstrecken vierfach vergrößert werden, da ja die vergrößerte Photographie nur $\frac{1}{4}$ natürlicher Größe hatte. Sie wurden dann als Ordinaten zu einer in 25 bzw. 26 gleiche Teile geteilten Zeitachse als Abszissenachse

Abb. 27. Wanderbewegung des Amputierten II. Rechte (amputierte) Seite.

Abb. 28. Wanderbewegung des Amputierten II. Linke (gesunde) Seite.

aufgetragen¹⁾. Die O-Linie in diesen Diagrammen zeigt nicht die Mittelstellung, d. h. die normale aufrechte Haltung des Körpers, sondern die dem beliebig gewählten Zeitpunkt des Beginns des Doppelschritts entsprechende Körperlage; es kann demnach aus den Kurven nur der Charakter der Bewe-

¹⁾ Die Abbildungen 25—58 sind verkleinert. Die Entfernung je zweier Teilstriche stellt 1 cm dar.

gung und der gesamte Ausschlag entnommen werden, nicht der Betrag der Bewegung aus der Mittellage nach vorn und nach rückwärts.

Unter Zuhilfenahme der Photographien konnten jetzt aus den Beinstellungen diejenigen Punkte ermittelt werden, an denen das Aufsetzen und Abschwngen der Beine stattfindet. Diese Stellen wurden durch die mit R , L , S_r und S_l bezeichneten Linien festgelegt.

2. Y-Richtung.

Zur Feststellung der Bewegungs-Diagramme für die Y-Richtung müssen die Stereogramme (Abb. 11, 14 und 17) zu Hilfe genommen werden. Diese Bilder lassen, wie bereits erwähnt, wenn man sie durch das Stereoskop betrachtet, nicht nur die Bewegung in der Y-Richtung erkennen, sondern zeigen den vollständigen Verlauf der Raumkurven. Man kann also für jeden Zeitpunkt den Ausschlag in der Y-Richtung feststellen und gleichzeitig bestimmen, welchem Punkt der Bewegung in der X- oder besser der Z-Richtung dieser Zeitpunkt entspricht, worauf dann aus den Seitenaufnahmen die zu diesem Zeitpunkte gehörige Phase der Beinbewegung ermittelt werden kann. Infolge der Möglichkeit der Orientierung durch die Seitenphotogramme läßt sich also der Verlauf der Y-Diagramme aus der Betrachtung der Bilder im Stereoskop zunächst dem Charakter nach aufzeichnen, die Größe der Bewegungen kann man aber nur durch den Vergleich mit dem unter gleichen Bedingungen aufgenommenen Stereoskopbild eines Gesunden abschätzen, wobei man wiederum zur Gewinnung eines Maßstabes für die Größe der Bewegung des Gesunden etwa die Fischerschen Kurven einsetzen müßte. Ein in dieser Weise konstruiertes Diagramm kann natürlich nicht sehr genau sein, man muß sich aber für die vorliegende Untersuchung damit begnügen, wenn man die schwierigen und langwierigen photographischen Messungen vermeiden will.

3. Z-Richtung.

Die Diagramme für die Z-Richtung sind wiederum aus den Seitenphotogrammen zu entnehmen. Allerdings geben diese kein unmittelbares Bild der Bewegung in der Z-Richtung, da in ihnen die Hebungen und Senkungen der Rumpfgelenke als Ordinaten zu den in der betreffenden Zeit zurückgelegten Wegen nicht zu den Zeiten selbst als Abszissen erscheinen. Man muß deshalb die Hebungen und Senkungen in den Photogrammen in gleichen Zeitabständen also z. B. bei jedem zweiten Lichtpunkt messen und diese Strecken auf einer in gleiche Teile geteilten Zeitachse als Ordinaten abtragen. Dies ist für Versuch I und III in den Abb. 29—32 geschehen, und zwar wieder unter Benutzung der vergrößerten Photographien und nach Umrechnung der ermittelten Strecken auf die natürliche Größe. Jede Abbildung enthält die Hebbewegung je eines Schultergelenkes und des dazu gehörigen Hüftgelenkes.

Um festzustellen, ob die angegebene Methode der Konstruktion ähnliche Resultate ergibt wie die umständliche Rechnungsmethode, die Fischer anwandte, wurden auch für den Gesunden (Versuch IV) die Diagramme der Wanderbewegung und der Hebbewegung in der beschriebenen Weise konstruiert.

Abb. 29. Hebbewegung des Amputierten I. Rechte (amputierte) Seite.

Abb. 30. Hebbewegung des Amputierten I. Linke (gesunde) Seite.

Abb. 31. Hebbewegung des Amputierten II. Rechte (amputierte) Seite.

Abb. 33 und 34 zeigen je einen Doppelschritt aus den vergrößerten Seitenphotogrammen, wobei wieder von jedem zweiten Lichtpunkt aus ein Lot auf eine darunter gezogene Wagerechte gefällt ist. Die Kurven für die Wander-

Abb. 32. Hebbewegung des Amputierten II. Linke (gesunde) Seite.

Abb. 33. Gesunder Mann. Linke Seite.

Abb. 34. Gesunder Mann. Rechte Seite.

bewegung der Schultergelenke sind in Abb. 35, der Hüftgelenke in Abb. 36 dargestellt; gleichzeitig enthalten diese Abbildungen die nach den Fischer'schen Zahlen konstruierten Kurven (Abb. 2) in punktierten Linien.

Berücksichtigt man, daß die beim Gesunden verhältnismäßig geringen Wanderbewegungen der Gelenke sehr von äußeren Zufälligkeiten abhängig sein können, z. B. kleinen Hindernissen, auch Angewohnheiten des Individuums, die die Form der Kurven im einzelnen beeinflussen, so wird man die Kurven des Versuches IV als gut übereinstimmend mit den Fischerschen Kurven bezeichnen können. Maxima und Minima liegen in beiden Fällen etwa bei der gleichen Phase des Doppelschrittes. In dieser Beziehung stimmen beim Schultergelenk die beiden Teile des Doppelschritts bei Versuch IV noch besser

Abb. 35. Wanderbewegung der Schultergelenke beim Gesunden. (Versuch 4).

Abb. 36. Wanderbewegung der Hüftgelenke beim Gesunden. (Versuch 4).

überein als bei dem Fischerschen Versuch. Das bei dem Fischerschen Versuch vorhandene unnormale Verhalten des rechten Schultergelenks ist nicht zu bemerken, dagegen zeigt sich bei Versuch IV während des Schwingens des rechten Beines ein größerer Ausschlag als beim Schwingen des linken Beines. Der Gesamtausschlag ist bei beiden Versuchen insbesondere beim Hüftgelenk nur wenig verschieden, auch kann man bei Versuch IV die gleichen Drehbewegungen der Schulter- und Hüftlinien wenigstens der Art nach erkennen. Mit anderen Worten: Die beiden Versuche ergeben Kurven gleichen Charakters, deren einzelne Unterschiede wohl auf das individuell verschiedene Verhalten der beiden Versuchsindividuen zurückzuführen ist.