



ABHANDLUNGEN

DREIUNDVIERZIGSTER BAND.



Handwritten scribble or mark in the bottom left corner of the page.

INSTITUT FÜR ANATOMIE

ANATOMISCHES THEATER

ANATOMISCHES THEATER

ABHANDLUNGEN

DER KÖNIGLICH SÄCHSISCHEN

GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.



DREIUNDVIERZIGSTER BAND.

MIT 25 TAFELN UND 62 TEXTFIGUREN.

LEIPZIG

BEI B. G. TEUBNER

1899.

ABHANDLUNGEN

DER MATHEMATISCH-PHYSISCHEN CLASSE

DER KÖNIGLICH SÄCHSISCHEN

GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.



FÜNFUNDZWANZIGSTER BAND.

MIT 25 TAFELN UND 62 TEXTFIGUREN.



LEIPZIG

BEI B. G. TEUBNER

1899.

INHALT.

	Seite
O. FISCHER, Der Gang des Menschen. II. Theil: Die Bewegung des Gesamtschwerpunktes und die äusseren Kräfte. Mit 12 Tafeln und 5 Textfiguren	1
W. SCHEIBNER, Ueber die Differentialgleichungen der Mondbewegung . . .	131
W. HIS, Protoplasmastudien am Salmonidenkeim. Mit 3 Tafeln und 21 Textfiguren	157
W. OSTWALD, Periodische Erscheinungen bei der Auflösung des Chroms in Säuren. Mit 6 Tafeln	219
S. GARTEN, Beiträge zur Physiologie des elektrischen Organes der Zitterrochen. Mit 1 Lichtdruck- und 3 lithographirten Tafeln	251
W. SCHEIBNER, Zur Theorie des Legendre-Jacobi'schen Symbols $\left(\frac{n}{m}\right)$. . .	367
W. OSTWALD, Dampfdrucke ternärer Gemische. Mit 36 Textfiguren . . .	411



INHALT

131	1	O. Fick, Der Gang des Menschen. II. Teil: Die Bewegung des Gaumenknorpels und die nasale Kräfte. Mit 12 Tafeln und 2 Textfiguren.
132	1	W. Brauer, Über die Differentialgleichungen der Blutbewegung. Mit 2 Tafeln und 1 Textfigur.
133	1	W. Brauer, Protokollunterschiede am Bahnenkreuz. Mit 2 Tafeln und 1 Textfigur.
134	1	W. Brauer, Experimentelle Untersuchungen bei der Atmung des Chlors in Säuren. Mit 2 Tafeln und 1 Textfigur.
135	1	E. G. von Berg, Beiträge zur Physiologie des elektrischen Stromes der Säuren. Mit 1 Tafel und 3 lithographierten Tafeln.
136	1	W. Brauer, Zur Theorie des Jacobini-Jacobinischen Symbols (μ_m^h). Mit 1 Tafel und 1 Textfigur.
137	1	W. Brauer, Die Hauptkräfte der Gase. Mit 2 Tafeln und 1 Textfigur.

MATHEMATISCH-PHYSISCHE CLASSE
DER KÖNIGL. SÄCHS. GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN
ERSTER BAND (I. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
ZWEITER BAND (II. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
DREITER BAND (III. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Vierter Band (IV. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Fünftes Band (V. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Sechstes Band (VI. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Siebentes Band (VII. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Achter Band (VIII. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Neuntes Band (IX. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Zehntes Band (X. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Elftes Band (XI. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Zwölftes Band (XII. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Dreizehntes Band (XIII. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Vierzehntes Band (XIV. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Fünfzehntes Band (XV. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Sechzehntes Band (XVI. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Siebzehntes Band (XVII. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Achtzehntes Band (XVIII. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Neunzehntes Band (XIX. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Zwanzigstes Band (XX. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Einundzwanzigstes Band (XXI. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Zweiundzwanzigstes Band (XXII. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Dreiundzwanzigstes Band (XXIII. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Vierundzwanzigstes Band (XXIV. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Fünfundzwanzigstes Band (XXV. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Sechsfundzwanzigstes Band (XXVI. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Siebtfundzwanzigstes Band (XXVII. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Achtfundzwanzigstes Band (XXVIII. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Neunfundzwanzigstes Band (XXIX. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.
Zwanzigstes Band (XXX. Bd.) Mit 2 Tafeln. Preis 12 M. 50 Pf.

DER GANG DES MENSCHEN.

II. THEIL:

DIE BEWEGUNG DES GESAMMTSCHWERPUNKTES

UND

DIE ÄUSSEREN KRÄFTE

VON

OTTO FISCHER,

AUSSERORDENTLICHEM MITGLIEDE DER KÖNIGLICH SÄCHSISCHEN GESELLSCHAFT
DER WISSENSCHAFTEN.

Des XXV. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe
der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

N^o I.

MIT 12 TAFELN UND 5 TEXTFIGUREN.



LEIPZIG

BEI B. G. TEUBNER

1899.

811
Einzelpreis: 8 Mark.

ABHANDLUNGEN

DER KÖNIGL. SÄCHS. GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN ZU LEIPZIG.

MATHEMATISCH-PHYSISCHE CLASSE.

- ERSTER BAND. (I. Bd.)*** Mit 3 Tafeln. hoch 4. 1852. brosch. Preis 13 M. 60 S.
- A. F. MÖBIUS, Ueber die Grundformen der Linien der dritten Ordnung. Mit 1 Tafel. 1849. 2 M. 40 S.
- P. A. HANSEN, Auflösung eines beliebigen Systems von linearischen Gleichungen. — Ueber die Entwicklung der Grösse $(1-2\alpha H + \alpha^2)^{-\frac{1}{2}}$ nach den Potenzen von α . 1849. 1 M. 20 S.
- A. SEEBECK, Ueber die Querschwingungen elastischer Stäbe. 1849. 1 M.
- C. F. NAUMANN, Ueber die cyclocentrische Conchospirale u. über das Windungsgesetz v. Planorbis Corneus. 1849. 1 M.
- W. WEBER, Elektrodynamische Maassbestimmungen (Widerstandsmessungen). 2. Abdruck. 1863. 3 M.
- F. REICH, Neue Versuche mit der Drehwaage. 1852. 2 M.
- M. W. DROBISCH, Zusätze zum Florentiner Problem. Mit 1 Tafel. 1852. 1 M. 60 S.
- W. WEBER, Elektrodynamische Maassbestimmungen (Diamagnetismus). Mit 1 Tafel. 2. Abdruck. 1867. 2 M.
- ZWEITER BAND. (IV. Bd.)** Mit 19 Tafeln. hoch 4. 1855. brosch. Preis 20 M.
- M. W. DROBISCH, Ueber musikalische Tonbestimmung und Temperatur. Mit 1 Tafel. 1852. 3 M.
- W. HOFMEISTER, Beiträge zur Kenntniss der Gefässkryptogamen. I. Mit 18 Tafeln. 1852. 4 M.
- P. A. HANSEN, Entwicklung des Products einer Potenz des Radius Vectors mit dem Sinus oder Cosinus eines Vielfachen der wahren Anomalie in Reihen, die nach den Sinussen oder Cosinussen der Vielfachen der wahren, excentrischen oder mittleren Anomalie fortschreiten. 1853. 3 M.
- Entwicklung der negativen und ungraden Potenzen der Quadratwurzel der Function $r^2 + r'^2 - 2rr'(\cos U \cos U' + \sin U \sin U' \cos J)$. 1854. 3 M.
- O. SCHLÖMILCH, Ueber die Bestimmung der Massen und der Trägheitsmomente symmetrischer Rotationskörper von ungleichförmiger Dichtigkeit. 1854. 80 S.
- Ueber einige allgemeine Reihenentwicklungen u. deren Anwend. auf die ellipt. Functionen. 1854. 1 M. 60 S.
- P. A. HANSEN, Die Theorie des Aequatoreals. 1855. 2 M. 40 S.
- C. F. NAUMANN, Ueber die Rationalität der Tangenten-Verhältnisse tautozonaler Krystallflächen. 1855. 1 M.
- A. F. MÖBIUS, Die Theorie der Kreisverwandtschaft in rein geometrischer Darstellung. 1855. 2 M.
- DRITTER BAND. (V. Bd.)** Mit 15 Tafeln. hoch 4. 1857. brosch. Preis 19 M. 20 S.
- M. W. DROBISCH, Nachträge zur Theorie der musikalischen Tonverhältnisse. 1855. 1 M. 20 S.
- P. A. HANSEN, Auseinandersetzung einer zweckmässigen Methode zur Berechnung der absoluten Störungen der kleinen Planeten. Erste Abhandlung. 1856. 5 M.
- R. KOHLRAUSCH und W. WEBER, Elektrodynamische Maassbestimmungen, insbesondere Zurückführung der Stromintensitäts-Messungen auf mechanisches Maass. Zweiter Abdruck. 1889. 1 M. 60 S.
- H. D'ARREST, Resultate aus Beobachtungen der Nebelflecken und Sternhaufen. Erste Reihe. 1856. 2 M. 40 S.
- W. G. HANKEL, Elektrische Untersuchungen. Erste Abhandlung: Ueber die Messung der atmosphärischen Electricität nach absolutem Maasse. Mit 2 Tafeln. 1856. 6 M.
- W. HOFMEISTER, Beiträge zur Kenntniss der Gefässkryptogamen. II. Mit 13 Tafeln. 1857. 4 M.
- VIERTER BAND. (VI. Bd.)** Mit 29 Tafeln. hoch 4. 1859. brosch. Preis 22 M. 50 S.
- P. A. HANSEN, Auseinandersetzung einer zweckmässigen Methode zur Berechnung der absoluten Störungen der kleinen Planeten. Zweite Abhandlung. 1857. 4 M.
- W. G. HANKEL, Elektrische Untersuchungen. Zweite Abhandlung: Ueber die thermo-elektrischen Eigenschaften der Boracites. 1857. 2 M. 40 S.
- Elektr. Untersuch. Dritte Abhandl.: Ueber Electricitätserregung zwisch. Metallen u. erhitzt. Salzen. 1858. 1 M. 60 S.
- P. A. HANSEN, Theorie der Sonnenfinsternisse und verwandten Erscheinungen. Mit 2 Tafeln. 1858. 6 M.
- G. T. FECHNER, Ueber ein wichtiges psychophysisches Grundgesetz und dessen Beziehung zur Schätzung der Sterngrössen. 1858. 2 M.
- W. HOFMEISTER, Neue Beiträge zur Kenntniss der Embryobildung der Phanerogamen. I. Dikotyledonen mit ursprünglich einzelligem, nur durch Zellentheilung wachsendem Endosperm. Mit 27 Tafeln. 1859. 8 M.
- FÜNFTER BAND. (VII. Bd.)** Mit 30 Tafeln. hoch 4. 1861. brosch. Preis 24 M.
- W. G. HANKEL, Elektrische Untersuchungen. Vierte Abhandlung: Ueber das Verhalten der Weingeistflamme in elektrischer Beziehung. 1859. 2 M.
- P. A. HANSEN, Auseinandersetzung einer zweckmässigen Methode zur Berechnung der absoluten Störungen der kleinen Planeten. Dritte Abhandlung. 1859. 7 M. 20 S.
- G. T. FECHNER, Ueber einige Verhältnisse des binocularen Sehens. 1860. 5 M. 60 S.
- G. METTENIUS, Zwei Abhandlungen: I. Beiträge zur Anatomie der Cycadeen. Mit 5 Tafeln. II. Ueber Seitenknospen bei Farnen. 1860. 3 M.
- W. HOFMEISTER, Neue Beiträge zur Kenntniss der Embryobildung der Phanerogamen. II. Monokotyledonen. Mit 25 Tafeln. 1861. 8 M.
- SECHSTER BAND. (IX. Bd.)** Mit 10 Tafeln. hoch 4. 1864. brosch. Preis 19 M. 20 S.
- W. G. HANKEL, Elektr. Untersuch. 5. Abhandl.: Maassbestimmungen d. elektromotor. Kräfte. 1. Th. 1861. 1 M. 60 S.
- Messungen über die Absorption der chemischen Strahlen des Sonnenlichtes. 1862. 1 M. 20 S.
- P. A. HANSEN, Darlegung der theoretischen Berechnung der in den Mondtafeln angewandten Störungen. Erste Abhandlung. 1862. 9 M.
- G. METTENIUS, Ueber den Bau von Angiopteris. Mit 10 Tafeln. 1863. 4 M. 40 S.
- W. WEBER, Elektrodynamische Maassbestimmungen, insbesondere über elektrische Schwingungen. 1864. 3 M.
- SIEBENTER BAND. (XI. Bd.)** Mit 5 Tafeln. hoch 4. 1865. brosch. Preis 17 M.
- P. A. HANSEN, Darlegung der theoretischen Berechnung der in den Mondtafeln angewandten Störungen. Zweite Abhandlung. 1864. 9 M.
- G. METTENIUS, Ueber die Hymenophyllaceae. Mit 5 Tafeln. 1864. 3 M. 60 S.
- P. A. HANSEN, Relationen einestheils zwischen Summen und Differenzen und andernteils zwischen Integralen und Differentialen. 1865. 2 M.
- W. G. HANKEL, Elektrische Untersuchungen. Sechste Abhandlung: Maassbestimmungen der elektromotorischen Kräfte. Zweiter Theil. 1865. 2 M. 80 S.
- ACHTER BAND. (XIII. Bd.)** Mit 3 Tafeln. hoch 4. 1869. brosch. Preis 24 M.
- P. A. HANSEN, Geodätische Untersuchungen. 1865. 5 M. 60 S.
- Bestimmung des Längenunterschiedes zwischen den Sternwarten zu Gotha und Leipzig, unter seiner Mitwirkung ausgeführt von Dr. Auwers und Prof. Bruhns im April des Jahres 1865. Mit 1 Figurentafel. 1866. 2 M. 80 S.
- W. G. HANKEL, Elektrische Untersuchungen. Siebente Abhandlung: Ueber die thermoelektrischen Eigenschaften des Bergkrystalles. Mit 2 Tafeln. 1866. 2 M. 40 S.
- P. A. HANSEN, Tafeln der Egeria mit Zugrundelegung der in den Abhandlungen der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften in Leipzig veröffentlichten Störungen dieses Planeten berechnet und mit einleitenden Aufsätzen versehen. 1867. 6 M. 80 S.
- Von der Methode der kleinsten Quadrate im Allgemeinen und in ihrer Anwendung auf die Geodäsie. 1867. 6 M.
- NEUNTER BAND. (XIV. Bd.)** Mit 6 Tafeln. hoch 4. 1871. brosch. Preis 18 M.
- P. A. HANSEN, Fortgesetzte geodätische Untersuchungen, bestehend in zehn Supplementen zur Abhandlung von der Methode der kleinsten Quadrate im Allgemeinen und in ihrer Anwendung auf die Geodäsie. 1868. 5 M. 40 S.
- Entwicklung eines neuen veränderten Verfahrens zur Ausgleichung eines Dreiecksnetzes mit besonderer Betrachtung des Falles, in welchem gewisse Winkel vorausbestimmte Werthe bekommen sollen. 1869. 3 M.
- Supplement zu der geodätische Untersuchungen benannten Abhandlung, die Reduction der Winkel eines sphäroidischen Dreiecks betreffend. 1869. 2 M.
- W. G. HANKEL, Elektrische Untersuchungen. Achte Abhandlung: Ueber die thermoelektrischen Eigenschaften des Topases. Mit 4 Tafeln. 1870. 2 M. 40 S.

*) Die eingeklammerten römischen Ziffern geben die Zahl des Bandes in der Reihenfolge der Abhandlungen beider Classen an.

DER
GANG DES MENSCHEN.

II. THEIL:
DIE BEWEGUNG DES GESAMTSCHWERPUNKTES
UND
DIE ÄUSSEREN KRÄFTE

VON
OTTO FISCHER,
AUSSERORDENTLICHEM MITGLIEDE DER KÖNIGLICH SÄCHSISCHEN GESELLSCHAFT
DER WISSENSCHAFTEN.

Des XXV. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe
der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

OTTO FISCHER,
AUSSERORDENTLICHEM MITGLIEDE DER KÖNIGLICH SÄCHSISCHEN GESELLSCHAFT
DER WISSENSCHAFTEN.
N^o I.

MIT 12 TAFELN UND 5 TEXTFIGUREN.

LEIPZIG
BEI B. G. TEUBNER
1899.

DER
GANG DES MENSCHEN

II. THEIL

DIE BEWEGUNG DES GESAMTSCHWERPUNKTES

UND

DIE ÄUSSEREN KRÄFTE

VON

Vorgetragen für die Abhandlungen am 5. December 1898.

Das Manuscript eingeliefert am 20. December 1898.

Der Abdruck vollendet am 18. März 1899.

Das XXV. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe
der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

N^o 1

MIT 13 TAFELN UND 5 TERTIENEN

LEIPZIG

BEI B. G. TEUBNER

1899

Einleitung

Durch die vor mehreren angestellten Versuche über
den Gang des menschlichen Körpers ist es gelungen,
den Gang des menschlichen Körpers zu beschreiben.

DER GANG DES MENSCHEN.

II. THEIL:
DIE BEWEGUNG DES GESAMTSCHWERPUNKTES

UND
DIE ÄUSSEREN KRÄFTE

VON
OTTO FISCHER,

AUSSERORDENTLICHEM MITGLIEDE DER KÖNIGLICH SÄCHSISCHEN GESELLSCHAFT
DER WISSENSCHAFTEN.

DER
Inhaltsverzeichniss.
GANG DES MENSCHLICHEN

	Seite
Einleitung	3
I. Ueber die Methoden der Bestimmung der Schwerpunktsbahn	12
A. Bestimmung der Schwerpunktsbahn aus den Schwerpunkten der einzelnen Abschnitte des menschlichen Körpers	12
B. Bestimmung der Schwerpunktsbahn aus den Hauptpunkten der einzelnen Abschnitte des menschlichen Körpers	27
II. Die Bahn des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers	44
III. Die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen des Gesamt- schwerpunktes	85
IV. Ueber die äusseren Kräfte	121
Rückblick	127

OTTO FISCHER

AUSGEWÄHLTE MITGLIEDER DER KÖNIGLICH SÄCHSISCHEN GESELLSCHAFT



Einleitung.

Durch die vor mehreren Jahren angestellten Versuche über den Gang des unbelasteten und belasteten Menschen ist dieser Bewegungsvorgang auf ein räumliches rechtwinkliges Coordinatensystem bezogen worden.¹⁾ Die hierbei erreichte Genauigkeit ist so gross, dass die Coordinatenbestimmung nicht nur eine bis in's Einzelste gehende Darstellung der von den verschiedenen Punkten des menschlichen Körpers beschriebenen Bahnen ermöglicht, sondern auch den Ausgangspunkt für die Lösung vieler beim Gehen in Betracht kommenden Fragen bilden kann. So sind in der früheren Abhandlung als Beispiel bereits die Bahncurven von Gelenkmittelpunkten, des Kopfscheitelpunktes, der Fussspitze dargestellt worden. Es sind ferner die Drehungen und Deformationen des Rumpfes ermittelt worden, soweit sie zurückgeführt werden können auf Drehungen der Hüftlinie, Schulterlinie und Rumpflinie, d. h. der Verbindungslinien der beiden Hüftgelenkmittelpunkte, der beiden Schultergelenkmittelpunkte und der Mitten von Hüftlinie und Schulterlinie.

Die grosse Genauigkeit brachte es mit sich, dass auch geringe Ungleichmässigkeiten im Verhalten der beiden Körperseiten an das Tageslicht kamen. So hatte sich beispielsweise herausgestellt, dass das Versuchsindividuum vor dem Aufsetzen des rechten Beins den ganzen Körper um einige Millimeter tiefer herunter senkt als vor dem Aufsetzen des linken Beins auf den Fussboden. Dieses asymmetrische Verhalten der beiden Beine kann nicht überraschen, wenn man beachtet, dass schon im Bau des menschlichen Körpers vollkommene Symmetrie gewiss nur

1) Der Gang des Menschen. I. Theil: Versuche am unbelasteten und belasteten Menschen, angestellt von WILHELM BRAUNE und OTTO FISCHER. Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften Bd. XXI Nr. IV. 1895.

äusserst selten, vielleicht überhaupt nicht anzutreffen ist. Scheinbar genau symmetrisch und normal gebaute Menschen zeigen in ihren Knochen namhafte Längendifferenzen. Als wir seiner Zeit zum Zwecke der Bestimmung des Schwerpunktes die Längen der einzelnen Extremitätenabschnitte massen, fanden wir unter Anderen für die beiden Oberschenkel des gleichen Individuums Differenzen bis zu 1 cm.¹⁾ Und dabei hatten wir ganz besonders wohl gebaute und normal erscheinende Leichen ausgesucht. In entsprechender Weise ergaben sich auch Verschiedenheiten in der Lage des Schwerpunktes symmetrisch gelegener Glieder. Solche Abweichungen in den Dimensionen und der Massenvertheilung innerhalb der unteren Extremitäten bedingen selbstverständlich auch Verschiedenheiten im Verhalten der Beine beim Gehen. Es lässt sich daher voraussagen, dass wohl bei den meisten Menschen eine genaue Untersuchung des Ganges derartige Asymmetrien aufdecken wird, wie wir sie bei unserem Versuchsindividuum vorgefunden haben. Da unser Mann Soldat gewesen war, ausserdem einen sehr gleichmässigen Körperbau aufwies (man vergleiche die Abbildungen in der oben angeführten Schwerpunktsarbeit, welche unser für die Untersuchung des Ganges verwendetes Versuchsindividuum in verschiedenen Stellungen zeigen) und einen scheinbar sehr regelmässigen Gang besass, so ist anzunehmen, dass die bei ihm vorgefundenen Asymmetrien dem Grade nach nicht grösser sind als bei vielen anderen Menschen mit scheinbar normalem Gang. Da ferner auch später weder mir selbst, noch Anderen es möglich gewesen ist, die durch die eingehende Untersuchung aufgedeckten Asymmetrien in der Bewegung beider Körperseiten bei directer Beobachtung des Ganges unseres Versuchsindividuum zu erkennen, so wäre unser an und für sich sehr berechtigter und begreiflicher Wunsch, für unsere Versuche ein Individuum mit möglichst normalem Verhalten auszuwählen, nur dadurch zu erfüllen gewesen, dass wir die mühsamen und so ungeheuer zeitraubenden Aufnahmen, Messungen und Berechnungen in gleicher Weise auf eine grosse Reihe von Menschen erstreckt und dann diejenige Serie für die weitere Untersuchung ausgewählt hätten,

1) vgl. W. BRAUNE und O. FISCHER, Ueber den Schwerpunkt des menschlichen Körpers. Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften Bd. XV Nr. VII. 1889.

welche die grösste Symmetrie aufwies. So lange diese grosse Arbeit nicht gethan ist, muss man sich damit begnügen, aus den Resultaten der Messung an dem einen Individuum unter Berücksichtigung der für beide Körperseiten übereinstimmenden Ergebnisse die wahrscheinlichste Norm abzuleiten.

Schon die wenigen im I. Theil dieser Untersuchung angeführten Beispiele lassen erkennen, dass die Unterschiede in dem Verhalten beider Körperseiten sich hauptsächlich auf die Ausdehnung, in äusserst geringem Maasse aber auf die Art der Bewegung beziehen, dass vielmehr in letzterer Hinsicht so gut wie vollständige Uebereinstimmung zwischen beiden Seiten besteht. Diese Thatsache findet sich auch durch die Ergebnisse des vorliegenden II. Theiles der Untersuchung durchweg bestätigt. Daraus ergibt sich, dass man bei der Ableitung der Norm des Gehens fast nur Fehler hinsichtlich der räumlichen Ausdehnung der einzelnen Bewegungsabschnitte begehen kann. In diesem Punkte werden im Allgemeinen auch die Gehbewegungen verschiedener Individuen von einander abweichen. Die Aufeinanderfolge und Art der einzelnen Gliederbewegungen ist aber für alle Menschen nahezu die gleiche. Dies geht schon daraus hervor, dass bei allen Menschen dieselben Arten von Kräften wirksam sind, um die Bewegung zu erzeugen; denn es ist wohl als sicher anzunehmen, dass selbst bei grossen individuellen Verschiedenheiten im Gange doch die gleichen Muskelgruppen in Thätigkeit treten. Es werden daher die aus den Versuchen an einem einzelnen Individuum gewonnenen Resultate über die Mechanik des Gehens und der Gehwerkzeuge nicht bloß individuelle, sondern wenigstens in qualitativer Hinsicht allgemeine Gültigkeit besitzen.

So viel über die Verwendbarkeit der in dem I. Theile dieser Untersuchung mitgetheilten Versuchsreihen zur weiteren Analyse der Gehbewegung. —

Die selbständige Fortbewegung des menschlichen Körpers beim Gehen, Laufen, Springen oder irgend einer anderen Locomotionsart geschieht unter der Einwirkung theils innerer theils äusserer Kräfte. Als innere Kräfte, welche im Körper selbst erzeugt werden, kommen vor allen Dingen Muskelkräfte und elastische Zug- und Druckspannungen von Sehnen, Bändern und Gelenkknorpeln in Frage. Als äussere Kräfte wirken die Anziehungskraft der Erde, der Gegendruck des Bodens, die Reibung am Boden und

der Widerstand der Luft. Während z. B. beim Fliegen der Vögel Gegendruck und Reibung des Bodens ganz in Wegfall kommen, und dafür dem Widerstand der Luft eine Hauptrolle bei der Fortbewegung zufällt, ist der Einfluss des Luftwiderstandes auf das Gehen des Menschen von untergeordneter Bedeutung. Er ist bei unbewegter Luft oder Gegenwind sogar der Fortbewegung hinderlich, und kann dieselbe nur dann unterstützen, wenn eine Luftströmung in der Richtung des Ganges vorhanden ist, deren Geschwindigkeit die mittlere Geschwindigkeit des Gehens übertrifft.

Würden gar keine äusseren Kräfte wirksam sein, so könnte der Mensch wohl durch die Contraction seiner Muskeln die Haltung ändern, es wäre ihm aber jeder Einfluss auf die Fortbewegung seines Körpers unmöglich gemacht. Befände er sich in Ruhe, etwa frei im Raume schwebend, so würde alle Muskelanstrengung seinen Gesamtschwerpunkt auch nicht um einen Millimeter im Raume verrücken können. Wäre ihm dagegen durch irgend welche äussere Ursache eine Bewegung seines Schwerpunktes aufgezwungen, so würde er sich nach dem Aufhören dieser äusseren Einwirkung im Raume so weiter fortbewegen, dass sein Gesamtschwerpunkt dabei eine geradlinige Bahn mit constanter Geschwindigkeit durchläuft, ohne dass irgend welche Gliederbewegungen infolge von Muskelcontractionen an diesem Zustand etwas zu ändern vermöchten.

Käme von den äusseren Kräften nur die Reibung in Wegfall, wie es beim Gang auf einer vollkommen glatten Fläche thatsächlich der Fall wäre, so würde eine selbständige Fortbewegung ebenfalls ausgeschlossen sein. Man wäre dann nur im Stande, durch willkürliche Muskelcontraction den Gesamtschwerpunkt seines Körpers innerhalb gewisser Grenzen von der Bodenfläche zu entfernen oder ihr zu nähern, und auf diese Weise die Bewegung zu modificiren, welche dem Körper etwa durch äussere Einwirkungen, die man nicht in der Gewalt hat, aufgezwungen ist.

Dies lässt sich leicht einsehen.

Für die Bewegung des Schwerpunktes gilt unter allen Umständen folgender fundamentale Satz. Der Schwerpunkt eines Körpers oder eines Systems von Körpern, auf welche beliebige innere und äussere Kräfte einwirken, bewegt sich stets so, als ob alle Massen in ihm vereinigt wären und alle äusseren Kräfte direct an ihm selbst angriffen. Die

inneren Kräfte üben keinen Einfluss auf die Bewegung des Schwerpunktes aus, weil sie immer paarweise entgegengesetzt gleich sind.

Steht z. B. ein Mensch auf einer vollkommen ebenen und horizontalen reibungslosen Bodenfläche still, was nur möglich ist, wenn seine Schwerlinie die Unterstutzungsfläche¹⁾ trifft, so übt er mit seinen Füßen normal gegen den Boden einen Druck aus, dessen Gesamtgrösse gleich dem Gewicht seines Körpers ist. Dieser Druck wird sich im Allgemeinen auf mehrere Stellen der Füße vertheilen. Die Bodenfläche wird nun, wenn sie nur starr und unnachgiebig ist, ihrerseits rückwärts, also vertical nach oben gegen die Füße drücken. Nach dem Princip der Gleichheit von Action und Reaction wird dieser Gegendruck des Bodens eine Gesamtgrösse besitzen, welche genau gleich dem Gewicht des Körpers ist. Dabei ist derselbe als äussere Kraft aufzufassen. Der Gesamtschwerpunkt des menschlichen Körpers unterliegt daher in diesem Falle nach dem obigen Satze der Einwirkung zweier Kräfte, nämlich der Schwere und des Gegendruckes des Bodens. Da die beiden Kräfte gleich gross aber entgegengesetzt gerichtet sind, so heben sie sich gegenseitig auf und können dem Schwerpunkt keine Bewegung ertheilen.

Beim Gebrauch seiner Muskeln hat man es nun in der Gewalt, den Druck auf den Boden zu verändern. Durch Streckung in den Knie- und Hüftgelenken wird man ihn beispielsweise in vielen Fällen vergrössern, durch Beugung verringern, durch rasche Beugung sogar unter Umständen ganz aufheben können. Dabei braucht er jetzt nicht mehr vertical, also normal gegen die Bodenfläche gerichtet zu sein. Nehmen wir aber zunächst einmal an, dass die Muskelcontractionen so abgemessen würden, dass auch der veränderte Druck gegen den Boden noch vertical gerichtet ist. In demselben Maasse, wie der Druck sich vergrössert oder verringert, wird der Gegendruck des Bodens gegen die Füße sich ändern. Der Schwerpunkt des Körpers wird infolgedessen jetzt nicht mehr der Einwirkung zweier entgegengesetzt gleichen Kräfte unterliegen, die sich aufheben, und er wird daher in Bewegung

1) Ueber den Begriff der «Schwerlinie» und der «Unterstutzungsfläche» vergleiche man die oben angeführte Abhandlung «Ueber den Schwerpunkt des menschlichen Körpers» Seite 561 und 562.

gesetzt werden. Da die resultirende Kraft, welche auf den Schwerpunkt einwirkt, immer noch vertical gerichtet ist, so wird auch die Bewegung des Schwerpunktes nur in einer Verticalen stattfinden können, in dem einen Falle nach oben, im anderen nach unten. Ist der Druck auf den Boden ganz aufgehoben, so wird der Schwerpunkt die gleiche Bewegung nach unten wie beim freien Fall annehmen.

Wenn der Druck gegen den Boden nicht mehr normal, sondern schräg stattfindet, so kann man ihn in zwei Componenten, eine verticale und eine horizontale, zerlegt denken. Nur die verticale Componente wirkt thatsächlich als Druck auf den Boden und gibt Veranlassung zu einem entgegengesetzt gleichen Gegendruck. Die horizontale Componente wird dagegen die Füße auf der Bodenfläche fortschieben, so lange keine Reibung vorhanden ist, welche diesen Bewegungsantrieb vernichtet. Wie auch diese Bewegung der Füße beschaffen sein mag, in keinem Falle kann bei vollkommen glatter Bodenfläche durch dieselbe der Schwerpunkt des Körpers aus seiner Verticalen herausgebracht werden, weil keine äusseren Kräfte hervorgerufen werden, deren Richtung von der Verticalen abweicht. Dagegen kann sehr leicht der Fall eintreten, dass die Schwerlinie aus der Unterstützungsfläche heraustritt; dann ändern sich momentan die Druckverhältnisse in der Weise, dass der Schwerpunkt jetzt so lange vertical nach unten fällt, bis wieder andere Theile des Körpers eine geeignete Unterstützung darbieten. Auf diesen mechanisch sehr interessanten Vorgang, dass mit dem Heraustreten der Schwerlinie aus der Unterstützungsfläche der Druck auf den Boden herabsinkt, so dass der Schwerpunkt nach unten fallen muss, hier weiter einzugehen, würde zu sehr von dem eigentlichen Gegenstand abführen.

Ist die Bodenfläche zwar eben, aber nicht mehr horizontal, so wird der durch die Schwere verursachte Druck gegen den Boden kleiner als das Gewicht des Körpers sein, denn es wirkt nur die zur Bodenfläche normale Componente der verticalen Schwerkraft als Druck. Die in die Bodenfläche selbst hineinfallende Componente wird dagegen in diesem Falle bei Abwesenheit jeglicher Reibung den ganzen Körper die schiefe Ebene hinabtreiben. Dabei findet die Bewegung des Schwerpunktes in der Richtung der zweiten Componente statt. Durch die Thätigkeit der Muskeln kann nun an dieser Bewegung des Schwerpunktes

wiederum nichts geändert werden, so lange die Bodenfläche nur vollkommen glatt ist. Dagegen ist man in der Lage, auch in diesem Falle die Entfernung des Schwerpunktes von der Bodenfläche innerhalb bestimmter, durch die Dimensionen des Körpers gesetzter Grenzen willkürlich zu ändern. Man hat es nämlich auch jetzt noch in der Gewalt, den Normaldruck gegen den Boden zu vergrößern oder zu verkleinern, und dadurch den Gegendruck des Bodens von der normal gegen den Boden gerichteten Componente der Schwerkraft verschieden zu machen. Jenachdem diese letztere von dem Gegendruck übertroffen wird oder ihn selbst übertrifft, wird der Schwerpunkt sich von der Bodenfläche mehr entfernen oder derselben näher kommen. An seiner Bewegungscomponente parallel der Bodenfläche wird hierdurch nichts geändert.

Die wenigen Beispiele werden zur Genüge erkennen lassen, dass ohne Reibung willkürliche Fortbewegung des menschlichen Körpers nicht möglich ist. Sie zeigen gleichzeitig, in welcher Weise die Reibung in die Bewegung eingreift. Es ist schon oben angeführt worden, dass man durch Muskelcontraction nicht allein die Grösse des Drucks auf die Bodenfläche, sondern auch dessen Richtung willkürlich verändern kann. Würde unser Körper so eingerichtet sein, dass wir bei allen Gliederbewegungen immer nur einen Druck auf den Boden ausüben könnten, der gegen diesen normal gerichtet ist, so würde alle Reibung am Boden uns für die Locomotion nichts nützen können. Dieselbe wird erst in Anspruch genommen, wenn der Druck schräg gegen den Boden gerichtet ist und infolgedessen eine Componente parallel der Bodenfläche besitzt. Dieser Componente wird dann bei genügender Rauigkeit des Bodens durch die Reibung das Gleichgewicht gehalten. Der Effect der Reibung ist dabei genau der gleiche wie der des Gegendruckes in normaler Richtung. Sie wirkt wie eine äussere Kraft, welche entgegengesetzt gleich der parallel der Bodenfläche verlaufenden Druckcomponente ist. Diese Kraft soll im Folgenden immer kurz als „Reibungskraft“ bezeichnet sein. Durch sie wird einmal das Ausgleiten der Füße verhindert, und dann erhält der Schwerpunkt des Körpers gleichzeitig einen Bewegungsantrieb in der Richtung der Reibungskraft. Es kann also bei geeigneter Contraction der Muskeln der Schwerpunkt des Körpers durch Vermittelung der Reibung parallel der Bodenfläche fortbewegt, oder, wenn er schon in Bewegung war, ihm eine Be-

schleunigung bezüglich Verzögerung oder eine Aenderung seiner Bewegungsrichtung, oder beides zugleich, ertheilt werden.

Was endlich den Luftwiderstand anlangt, so ist schon oben angeführt worden, dass er beim Gang des Menschen im geschlossenen Raume, wo keine merklichen Luftströmungen vorhanden sind, der Fortbewegung entgegenwirkt, und zwar um so mehr, je grösser die Geschwindigkeit der Bewegung des menschlichen Körpers ist. Da es beim Gehen nur in der Richtung des Fortschreitens zu namhaften Geschwindigkeiten kommt, so wird man in erster Annäherung die Wirkung des Luftwiderstandes als die einer äusseren Kraft auffassen können, deren Richtung der Bodenfläche parallel läuft und der Gangrichtung entgegengesetzt ist.

So theilen sich denn die äusseren Kräfte in bestimmter Weise in die Rolle, den Schwerpunkt des menschlichen Körpers fortzubewegen. Setzt man, wie es bei unseren Versuchen der Fall war, eine horizontale Bodenfläche voraus, so wird jede Beschleunigung oder Verzögerung der Bewegung des Schwerpunktes in verticaler Richtung dem Zusammenwirken von Schwere und normalem Gegendruck des Bodens, in horizontaler Richtung dagegen dem Zusammenwirken von Reibungskraft und Luftwiderstand zuzuschreiben sein. Dadurch, dass wir Gegendruck des Bodens und Reibungskraft innerhalb bestimmter Grenzen vermittelt unserer Muskeln variiren können, sind wir im Stande, unserem Körper sowohl die Richtung als auch die Geschwindigkeit des Ganges willkürlich aufzuzwingen.

Kennt man nun die genaue Bewegung des Gesamtschwerpunktes im Raume beim Gehen, indem man mindestens während eines Doppelschrittes Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung desselben für jeden Moment festgestellt hat, so ist man in der Lage, die Grössen von normalem Gegendruck, Reibungskraft und Luftwiderstand für den ganzen Ablauf der Bewegung zu berechnen. Die Kenntniss von Gegendruck und Reibungskraft wird dann weiterhin den Ausgangspunkt für die Beurtheilung der Thätigkeit der hauptsächlich beim Gehen in Frage kommenden Muskelgruppen bilden können. Allerdings wird man sich zu dem letzteren Zwecke erst noch mit Hülfe der räumlichen Coordinaten der Gelenkmittelpunkte eine eingehende Kenntniss der während eines Doppelschrittes stattfindenden Gelenkbewegungen verschaffen müssen.

Die vorliegende Abhandlung soll nun der Bestimmung der Bewegung des Schwerpunktes im Raume und der dabei thätigen

äusseren Kräfte gewidmet sein. In einem ersten Abschnitt sollen die verschiedenen Methoden der Bestimmung der Bahn des Schwerpunktes auseinander gesetzt werden. Ein zweiter Abschnitt wird sich dann mit der Berechnung der Coordinaten der Schwerpunktsbahn und ein dritter Abschnitt mit der Ableitung der Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der Bewegung des Schwerpunktes zu beschäftigen haben. In einem vierten und letzten Abschnitte sollen endlich aus diesen Daten die äusseren Kräfte berechnet werden, welche die Bewegung des Schwerpunktes hervorgebracht haben.

Von der Bahn, welche der Gesamtschwerpunkt des menschlichen Körpers beim Gehen im Räume beschreibt, lassen sich am Grund der im I. Theil dieser Arbeit mitgetheilten Messungen so viel Punkte gewinnen als Bewegungphasen auf ihre Coordinaten untersucht worden sind. Diese Punkte liegen so nahe aneinander, dass durch sie die ganze Schwerpunktsbahn vollkommen eindeutig bestimmt ist.

Es gibt zunächst zwei verschiedene Methoden, um zu dem Ort des Gesamtschwerpunktes im Räume für eine bestimmte Bewegungsphase zu gelangen; Man geht entweder von den Schwerpunkten oder von den Hauptpunkten der einzelnen Körpertheile aus. In jedem Falle kann man dann noch anderer Wege beschreiben. Man kann den Gesamtschwerpunkt entweder auf rein geometrischen Wege durch Construction darstellen, oder man kann aus den Coordinaten der Gelenkmittelpunkte die Coordinaten des Gesamtschwerpunktes berechnen. Letzliches kann man einen Mechanismus zusammensetzen, welcher die Lage des Gesamtschwerpunktes für jede Stellung des menschlichen Körpers selbstthätig anzeigt.

Die Bestimmung der Schwerpunktsbahn aus den Schwerpunkten der einzelnen Abschnitte des menschlichen Körpers.

Darüber für die Untersuchung des Ganges des menschlichen Körpers aus 12 verschiedenen Abschnitten zusammengesetzt sind nehmen, so sind zunächst die Hälftschwerpunkte dieser 12 Abschnitte zu ermitteln, und dann dieselben zu dem Gesamtschwerpunkte zu vereinigen. Die Lage der Hälftschwerpunkte ist durch die photographische Aufnahme festgelegt worden. Die Lage der übrigen

I. Ueber die Methoden der Bestimmung der Schwerpunktsbahn.

Von der Bahn, welche der Gesamtschwerpunkt des menschlichen Körpers beim Gehen im Raume beschreibt, lassen sich auf Grund der im I. Theil dieser Arbeit mitgetheilten Messungen so viel Punkte gewinnen als Bewegungsphasen auf ihre Coordinaten untersucht worden sind. Diese Punkte liegen so nahe aneinander, dass durch sie die ganze Schwerpunktsbahn vollkommen eindeutig bestimmt ist.

Es gibt zunächst zwei verschiedene Methoden, um zu dem Ort des Gesamtschwerpunktes im Raume für eine bestimmte Bewegungsphase zu gelangen: Man geht entweder von den Schwerpunkten oder von den Hauptpunkten der einzelnen Körperteile aus. In jedem Falle kann man dann noch dreierlei Wege beschreiten. Man kann den Gesamtschwerpunkt entweder auf rein geometrischem Wege, durch Construction, darstellen, oder man kann aus den Coordinaten der Gelenkmittelpunkte die Coordinaten des Gesamtschwerpunktes berechnen. Endlich kann man einen Mechanismus zusammensetzen, welcher die Lage des Gesamtschwerpunktes für jede Stellung des menschlichen Körpers selbstthätig angibt.

A. Bestimmung der Schwerpunktsbahn aus den Schwerpunkten der einzelnen Abschnitte des menschlichen Körpers.

Da wir für die Untersuchung des Ganges den menschlichen Körper aus 12 verschiedenen Abschnitten zusammengesetzt annehmen, so sind zunächst die Einzelschwerpunkte dieser 12 Abschnitte zu ermitteln, und dann dieselben zu dem Gesamtschwerpunkte zu vereinigen.

Der Ort der beiden Fusschwerpunkte ist direct durch die photographische Aufnahme festgelegt worden. Die Lage der übrigen

Einzelsschwerpunkte muss dagegen für jede Bewegungsphase aus der Stellung der Gelenkmittelpunkte abgeleitet werden, und zwar auf folgende Weise. Die oben angeführte Untersuchung über die Lage der Schwerpunkte im menschlichen Körper hatte ergeben, dass der Schwerpunkt des Oberschenkels, Unterschenkels und Oberarms bei Menschen von der Gestalt unseres Versuchsindividuum mit grosser Annäherung in der Längsaxe des Gliedes, d. h. in der Linie, welche die Mittelpunkte der beiden das Glied begrenzenden Gelenke verbindet, liegt, und dass er die Strecke zwischen den beiden Gelenkmittelpunkten in einem bestimmten, für alle Individuen von ähnlicher Gestalt gleichen Verhältniss theilt.

Es verhält sich nämlich der Abstand des Schwerpunktes vom proximalen Gelenkmittelpunkt zu dem vom distalen Gelenkmittelpunkt beim Oberschenkel wie $0,44 : 0,56$, beim Unterschenkel wie $0,42 : 0,58$ und beim Oberarm wie $0,47 : 0,53$ (vgl. Seite 622 der Schwerpunktsarbeit). Ferner liegt beim System Unterarm + Hand, wenn die Hand sich in mittlerer Pronationsstellung befindet, der gemeinsame Schwerpunkt ebenfalls in der Längsaxe des Unterarms. Das Verhältniss zwischen seinen Abständen vom Ellbogen-gelenkmittelpunkt und Handgelenkmittelpunkt beträgt $0,66 : 0,34$, wie man aus den auf Seite 619 und 620 der Schwerpunktsarbeit angegebenen Maassen für Cadaver III und Cadaver IV im Mittel ableitet. Für den Rumpf hatte die Messung an dem, unserem Versuchsindividuum am nächsten stehenden Cadaver IV ergeben, dass der Schwerpunkt bei aufrechter Haltung nahezu in der Verbindungslinie der Mitten der Hüft- und Schulterlinie liegt, welche im ersten Theile dieser Arbeit als Rumpflinie bezeichnet worden ist. Sein Abstand von der Hüftlinie betrug $25,8$ cm (Seite 628), während Hüftlinie und Schulterlinie 49 cm von einander entfernt waren (Seite 595). Demnach verhält sich die Entfernung des Rumpfschwerpunktes von der Mitte der Hüftlinie zu der von der Mitte der Schulterlinie wie $0,53 : 0,47$. Da ferner der Abstand des Rumpfschwerpunktes vom Mittelpunkt des Atlantooccipitalgelenks $40,2$ cm betrug (Seite 628), und der letztere annähernd in der Verlängerung der Rumpflinie liegt, so theilt der Rumpfschwerpunkt die Strecke zwischen dem Mittelpunkt der Hüftlinie und dem Mittelpunkt des Atlantooccipitalgelenks im Verhältniss $0,39 : 0,61$. Die Kenntniss der zuletzt angeführten Maasse kann man gleichzeitig benutzen, um die Lagen des Mittelpunktes vom

Atlantooccipitalgelenk, welche nicht bei den Aufnahmen des Ganges mit gewonnen worden sind, hinterher wenigstens annähernd für die verschiedenen Bewegungsphasen festzustellen. Man hat zu diesem Zwecke nur auf der nach oben verlängerten Rumpflinie einen Punkt aufzusuchen, dessen Entfernung von der Mitte der Schulterlinie sich zu dem Abstand zwischen Schulter- und Hüftlinienmitte wie $17:49$ oder $0,35:1$ verhält. Was endlich die Bestimmung des Kopfschwerpunktes anlangt, so kann man zwei Wege einschlagen, welche zwar beide gleich ungenau sind, aber doch mit genügender Annäherung die Lage des Kopfschwerpunktes ermitteln lassen, da beide den nicht sehr weit von demselben entfernten Kopfscheitelpunkt benutzen. Man kann entweder annehmen, der Kopfschwerpunkt liegt auf der Verbindungslinie des Kopfscheitelpunktes mit dem Mittelpunkt des Atlantooccipitalgelenks; dann ergeben Messungen an den Photogrammen der Schwerpunktsarbeit, dass er diese Strecke im Verhältniss $0,26:0,74$ theilt, und zwar so, dass er dem Atlantooccipitalgelenk näher liegt als dem Scheitelpunkt des Kopfes. Oder man nimmt ihn auf der Verbindungslinie des Mittelpunktes der Schulterlinie mit dem Kopfscheitelpunkte an; dann ergeben Messungen an jenen Photogrammen in Verbindung mit den photographischen Aufnahmen des Ganges im I. Theil dieser Arbeit, dass sein Abstand vom Mittelpunkt der Schulterlinie sich zu dem vom Kopfscheitelpunkt beim I. und II. Versuch wie $0,70:0,30$, beim III. Versuch dagegen wie $0,68:0,32$ verhält. Ein Unterschied zwischen dem letzten und den beiden ersten Versuchen hat sich deshalb herausgestellt, weil infolge der starken Belastung beim III. Versuch die Schultern etwas anders gestellt waren als bei den Versuchen ohne Belastung. Wenn auch diese beiden Bestimmungen des Kopfschwerpunktes an Genauigkeit hinter denen der übrigen Schwerpunkte zurückstehen, so werden sie doch genügend genau die Gestalt der Bahn des Kopfschwerpunktes ergeben. Die etwaigen Fehler sind ja doch für alle Bewegungsphasen nahezu dieselben; sie werden daher höchstens eine kleine Verschiebung dieser Bahn im Raume, nicht aber eine Deformation derselben bedingen. Man würde gewiss schon genügend genau sein, wollte man die Gestalt der Bahn des Schwerpunktes mit der des Scheitelpunktes des Kopfes identificiren und die letztere nur um so viel nach abwärts bezüglich rückwärts verschieben, als es die relative Lage des Kopfschwerpunktes zum

Kopfscheitelpunkte verlangt. Durch jede der beiden oben angeführten Bestimmungsarten wird man aber immer noch genauere Angaben erzielen, da man bei ihnen ausserdem den Bewegungen des Kopfes relativ zum Rumpfe etwas Rechnung trägt. Da die Bestimmung des Kopfschwerpunktes im vorliegenden Falle nur dazu helfen soll, den Gesamtschwerpunkt des Körpers aufzusuchen, so würden selbst grössere Fehler, als sie den angeführten Bestimmungen anhaften, infolge der relativ kleinen Masse des Kopfes keinen nennenswerthen Einfluss auf die Bahn des Gesamtschwerpunktes ausüben.

Die angeführten Verhältnisszahlen und die Linien, auf denen die einzelnen Schwerpunkte der Körperabschnitte zu suchen sind, geben nun das Mittel an die Hand, die Coordinaten aller 12 Einzelschwerpunkte zu bestimmen, und die Schwerpunkte selbst in die Projectionen der einzelnen Bewegungsphasen auf Tafel X und XI des I. Theiles dieser Untersuchung einzutragen. Denn wenn auch die Längsaxen der Glieder in der Projection im Allgemeinen verkürzt erscheinen, so werden doch auch in der Projection die Schwerpunkte dieselben in den angegebenen Verhältnissen theilen.

Nachdem auf diese Weise die Bahnen der 12 Einzelschwerpunkte ermittelt sind, kann man dazu übergehen, für jede Bewegungsphase die Schwerpunkte der 12 Körperabschnitte zu dem Gesamtschwerpunkte zusammen zu setzen. Durch die Rechnung lässt sich dies auf einmal erreichen (vgl. Seite 19). Bei der Construction muss man schrittweise vorgehen. Man setzt erst zwei Schwerpunkte zu dem gemeinsamen Schwerpunkte zusammen, vereinigt dann diesen mit einem dritten u. s. w. Die Reihenfolge, welche man dabei einhält, ist an und für sich gleichgültig. Da jedoch die Schwerpunkte bestimmter Systeme, wie z. B. des Systems Unterschenkel + Fuss oder der ganzen unteren Extremitäten, der oberen Extremitäten, des Systems Rumpf + Kopf u. s. w. ihre besondere Bedeutung für die Analyse des ganzen Bewegungsvorganges besitzen, so ist es zweckmässig, die Zusammensetzung in folgender Ordnung vorzunehmen. Man setzt zuerst auf beiden Seiten die Schwerpunkte des Oberarms und des Systems Unterarm + Hand zum Schwerpunkt des ganzen Armes zusammen, dann die vom Rumpf und Kopf zum Schwerpunkte des Systems Rumpf + Kopf. Weiter verschafft man sich den Gesamtschwerpunkt für beide Arme und vereinigt diesen mit dem Schwerpunkt

des Systems Rumpf + Kopf zu dem Schwerpunkte des ganzen Körperabschnittes, welcher von den beiden Beinen getragen wird. Ferner setzt man zunächst für jede Körperseite die Schwerpunkte des Unterschenkels und Fusses zum Schwerpunkt vom System Unterschenkel + Fuss zusammen, und vereinigt darauf diesen letzteren mit dem Schwerpunkt des Oberschenkels zum Schwerpunkt des ganzen Beins. Endlich verschafft man sich wieder den Gesamtschwerpunkt für beide Beine und vereinigt denselben mit dem vorher gewonnenen Schwerpunkt des Systems Rumpf + Kopf + beide Arme zum Gesamtschwerpunkte des ganzen Körpers.

Um diese Zusammensetzungen der Schwerpunkte vornehmen zu können, braucht man nur die Verhältnisse der einzelnen Massen zu kennen. Dieselben finden sich für den Cadaver IV, welcher unserem Versuchsindividuum entsprach, auf Seite 612 der Schwerpunktsarbeit niedergelegt. Da in der vorliegenden Arbeit öfter von ihnen Gebrauch gemacht wird, so sollen sie an dieser Stelle noch einmal angeführt werden, und zwar in etwas anderer Form. Setzt man nämlich die Masse des ganzen Körpers gleich 1, so kommen den einzelnen Körperabschnitten folgende Verhältnisszahlen zu:

Kopf	0,07055	Rumpf + Kopf	0,49755
Rumpf	0,4270	Unterschenkel + Fuss	0,07055
Oberschenkel	0,1158	Ganzes Bein	0,18635
Unterschenkel	0,052675	Ganzer Arm	0,064875
Fuss	0,017875	Beide Beine	0,3727
Oberarm	0,03365	Beide Arme	0,12975
Unterarm + Hand	0,031225	Rumpf + Kopf + beide Arme	0,6273

Der gemeinsame Schwerpunkt zweier Massen liegt nun bekanntlich auf der Verbindungslinie der Einzelschwerpunkte und theilt dieselbe im umgekehrten Verhältniss dieser Massen. Man findet demnach den Schwerpunkt eines Armes, indem man die Verbindungslinie der Schwerpunkte des Oberarms und des Systems Unterarm + Hand im Verhältniss 0,031225 : 0,03365 oder, was für die Construction zweckmässiger ist, im Verhältniss 0,481 : 0,519 theilt. Der Schwerpunkt des Systems Rumpf + Kopf theilt die Verbindungslinie der Schwerpunkte des Rumpfes und Kopfes im Verhältniss 0,142 : 0,858, der Schwerpunkt des Systems Unterschenkel + Fuss die Verbindungslinie der Schwerpunkte des Unter-

schenkels und des Fusses im Verhältniss $0,253 : 0,747$, und der Schwerpunkt eines Beins die Verbindungslinie der Schwerpunkte des Oberschenkels und des Systems Unterschenkel + Fuss im Verhältniss $0,379 : 0,621$. Der Gesamtschwerpunkt beider Arme liegt natürlich stets in der Mitte der Verbindungslinie der Schwerpunkte der beiden Arme, und der Gesamtschwerpunkt für beide Beine halbirt die Verbindungsstrecke der Schwerpunkte der beiden Beine. Um nun weiterhin den Schwerpunkt des Systems Rumpf + Kopf + beide Arme zu finden, hat man die Verbindungslinie des Schwerpunktes des Systems Rumpf + Kopf und des Gesamtschwerpunktes beider Arme im Verhältniss $0,207 : 0,793$ zu theilen. Der Gesamtschwerpunkt des ganzen Körpers liegt endlich auf der Verbindungslinie des Schwerpunktes des Systems Rumpf + Kopf + beide Arme und des Gesamtschwerpunktes für beide Beine und theilt dieselbe im Verhältniss $0,373 : 0,627$.

So hat man denn alle Mittel an der Hand, um entweder aus Projectionen des Ganges von der Art, wie sie z. B. für den I. und II. Versuch auf den Tafeln X und XI des I. Theils der Untersuchung niedergelegt sind, durch Construction, oder aus den Coordinaten der Gelenkmittelpunkte durch Rechnung, oder endlich mit Hülfe eines geeigneten Mechanismus für jede Bewegungsphase den Ort des Gesamtschwerpunktes des Körpers und gleichzeitig die Lage der Schwerpunkte einzelner wichtiger Körperabschnitte festzustellen.

Was zunächst die Construction anlangt, so ist dabei zu beachten, dass die oben angegebenen Verhältnisszahlen natürlich auch für die Projectionen der Verbindungsstrecken einzelner Schwerpunkte gelten. Hat man nun an zwei verschiedenen Projectionen diese Construction ausgeführt, so hat man damit zwei Projectionen der verschiedenen Schwerpunktsbahnen gewonnen, welche vollständig ausreichen, um den Verlauf dieser im Allgemeinen doppelt gekrümmten Curven im Raume zu erkennen. Beziehen sich insbesondere die beiden Projectionen auf die Gangebene und die horizontale Bodenfläche, wie auf Tafel X und XI des I. Theils, so kann man aus ihnen die drei räumlichen Coordinaten des Gesamtschwerpunktes und der partiellen Schwerpunkte direct ablesen. Die dabei erzielte Genauigkeit ist um so grösser, je grösser der Maassstab der Projectionen ist. Es empfiehlt sich daher, dieselben zum Zwecke der Construction

noch besonders in ganzer oder doch mindestens halber Lebensgrösse aufzuzeichnen.

Will man auf dem Wege der Rechnung zu den Coordinaten des Gesamtschwerpunktes gelangen, so hat man zunächst die Coordinaten der Einzelschwerpunkte zu ermitteln. Zu diesem Zwecke hat man sich beim Oberschenkel, Unterschenkel und Oberarm aus den Tabellen 10, 11 und 12 auf den Seiten 258 bis 263 des I. Theils der Untersuchung über den Gang des Menschen die Differenzen entsprechender Coordinaten des distalen und proximalen Gelenkmittelpunktes zu verschaffen, dieselben bezüglich mit 0,44; 0,42 und 0,47 zu multipliciren (vgl. S. 13), und die in dieser Weise verkleinerten Differenzen bei jedem der drei Körpertheile zu den Coordinaten des proximalen Gelenkmittelpunktes zu addiren. Um die Coordinaten des Schwerpunktes vom System Unterarm + Hand zu erhalten, hat man die Differenzen entsprechender Coordinaten des Hand- und Ellbogengelenkmittelpunktes mit 0,66 zu multipliciren und zu den Coordinaten des Mittelpunktes vom Ellbogengelenk zu addiren. Die Coordinaten des Rumpfschwerpunktes gewinnt man, indem man die Differenzen entsprechender Coordinaten der Schulter- und Hüftlinienmitte mit 0,53 multiplicirt und zu den Coordinaten des Mittelpunktes der Hüftlinie addirt. Endlich erhält man aus den in den Tabellen 10, 11 und 12 des I. Theils niedergelegten Coordinaten des Kopfscheitelpunktes und der Schulterlinienmitte die Coordinaten des Kopfschwerpunktes, indem man ihre Differenzen beim I. und II. Versuch mit 0,70, beim III. Versuch mit 0,68 multiplicirt und dann zu den Coordinaten der Schulterlinienmitte addirt. Die Coordinaten des Fusschwerpunktes finden sich schon in jenen Tabellen angegeben.

Aus den auf diese Weise berechneten Coordinaten der Einzelschwerpunkte kann man nun auf zwei Wegen zu den Coordinaten des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers gelangen.

Der einfachste Weg ist der, dass man die gleichnamigen Coordinaten der 12 Einzelschwerpunkte mit den zu dem betreffenden Körpertheil gehörenden Verhältnisszahlen, welche sich auf Seite 16 vorfinden, multiplicirt und alle 12 Producte algebraisch summirt. Nummerirt man die 12 Körpertheile in bestimmter Weise und bezeichnet dann mit x_i , y_i , z_i die drei Coordinaten des Schwerpunktes und mit μ_i die Zahl für das Massenverhältniss des

mit der Nummer i versehenen Körpertheils, so hat man demnach zur Berechnung der drei Coordinaten x_0, y_0, z_0 des Gesamtschwerpunktes die Formeln:

$$x_0 = \mu_1 x_1 + \mu_2 x_2 + \mu_3 x_3 \cdots \cdots \cdots + \mu_{12} x_{12} = \sum_1^{12} \mu_i x_i,$$

$$y_0 = \mu_1 y_1 + \mu_2 y_2 + \mu_3 y_3 \cdots \cdots \cdots + \mu_{12} y_{12} = \sum_1^{12} \mu_i y_i,$$

$$z_0 = \mu_1 z_1 + \mu_2 z_2 + \mu_3 z_3 \cdots \cdots \cdots + \mu_{12} z_{12} = \sum_1^{12} \mu_i z_i.$$

Diese Formeln sind deshalb einfacher und für die Berechnung bequemer als die ihnen entsprechenden der Schwerpunktsarbeit auf Seite 606, weil bei ihnen nicht die Massen selbst, sondern nur die Verhältnisszahlen für dieselben verwendet sind. Da der Gesamtmasse des Körpers hierbei die Verhältnisszahl 1 zukommt, so fällt der Nenner aus den früheren Formeln fort.

Man kann nun die Rechnung auch so gestalten, dass sie sich eng an die Construction des Gesamtschwerpunktes aus den Einzelschwerpunkten anschliesst. Wenn auch dieser Weg beschwerlicher ist als der eben geschilderte, so bietet er doch den Vorthail, dass man beim Beschreiten desselben nicht nur die Coordinaten des Gesamtschwerpunktes, sondern auch gleichzeitig die Coordinaten von Schwerpunkten einiger wichtiger Körpersysteme, wie der ganzen Extremitäten oder des von den Beinen getragenen, aus Rumpf, Kopf und den beiden Armen bestehenden Körperabschnittes u. a. gewinnt. Die Rechnung verwendet dabei am besten die oben angegebenen Verhältnisszahlen, durch welche in jedem Falle der Ort des gemeinsamen Schwerpunktes auf der Verbindungslinie der beiden Einzelschwerpunkte bestimmt wird.

Um z. B. die Coordinaten des Schwerpunktes des ganzen Armes zu erhalten, hat man zunächst die Differenzen entsprechender Coordinaten der Schwerpunkte des Systems Unterarm + Hand und des Oberarms zu bilden, dieselben mit 0,481 zu multipliciren und dann zu den Coordinaten des Oberarmschwerpunktes zu addiren. Die Coordinaten des Schwerpunktes des Systems Rumpf + Kopf gewinnt man, indem man die Differenzen entsprechender Coordinaten des Kopfschwerpunktes und Rumpfschwerpunktes mit 0,142 multiplicirt und zu den Coordinaten des Rumpfschwerpunktes addirt. Bildet man die Differenzen entsprechender Coordinaten

des Fusschwerpunktes und des Schwerpunktes vom Unterschenkel, multiplicirt dieselben mit 0,253 und addirt sie zu den Coordinaten des Unterschenkelschwerpunktes, so erhält man die Coordinaten des Schwerpunktes vom System Unterschenkel + Fuss. Zieht man weiterhin von letzteren die entsprechenden Coordinaten des Schwerpunktes vom Oberschenkel ab, multiplicirt diese Differenzen mit 0,379 und addirt sie dann wieder zu den Schwerpunktscoordinaten des Oberschenkels, so erhält man die Coordinaten des Schwerpunktes des ganzen Beins. Die Coordinaten des Gesamtschwerpunktes beider Arme stellen einfach das arithmetische Mittel entsprechender Coordinaten der Schwerpunkte der beiden Arme dar. Desgleichen bilden die Coordinaten des Gesamtschwerpunktes für beide Beine das arithmetische Mittel entsprechender Coordinaten der Schwerpunkte beider Beine. Vermindert man weiterhin die Coordinaten des Gesamtschwerpunktes beider Arme um die entsprechenden Coordinaten des Schwerpunktes vom System Rumpf + Kopf, multiplicirt diese Differenzen mit 0,207 und addirt sie darauf zu den Schwerpunktscoordinaten des Systems Rumpf + Kopf, so erhält man die Coordinaten des Schwerpunktes vom System Rumpf + Kopf + beide Arme. Zieht man diese letzteren von den entsprechenden Coordinaten des Gesamtschwerpunktes beider Beine ab, multiplicirt diese Differenzen mit 0,373 und addirt sie darauf wieder zu den Coordinaten des Schwerpunktes vom System Rumpf + Kopf + beide Arme, so gelangt man schliesslich zu den Coordinaten des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers.

Endlich kann man, von den Einzelschwerpunkten ausgehend, einen Gelenkmechanismus construiren, welcher automatisch für jede Stellung des menschlichen Körpers den Ort des Gesamtschwerpunktes angiebt. Ein solcher Mechanismus schliesst sich sehr eng an die Construction des Gesamtschwerpunktes aus den Einzelschwerpunkten an; er führt dieselbe mechanisch aus. Da es bei dieser Construction nur auf Theilung variabler Strecken in bestimmten Verhältnissen ankommt, so wird der Gesamtmechanismus sich aus lauter einzelnen Mechanismen zusammensetzen, von denen jeder die Theilung einer innerhalb bestimmter Grenzen variablen Strecke nach gegebenem Verhältniss für jede Länge derselben ausführt. Einen derartigen Gelenkmechanismus veranschaulicht Fig. 1. Die vier Stäbe, Metallstreifen oder auch

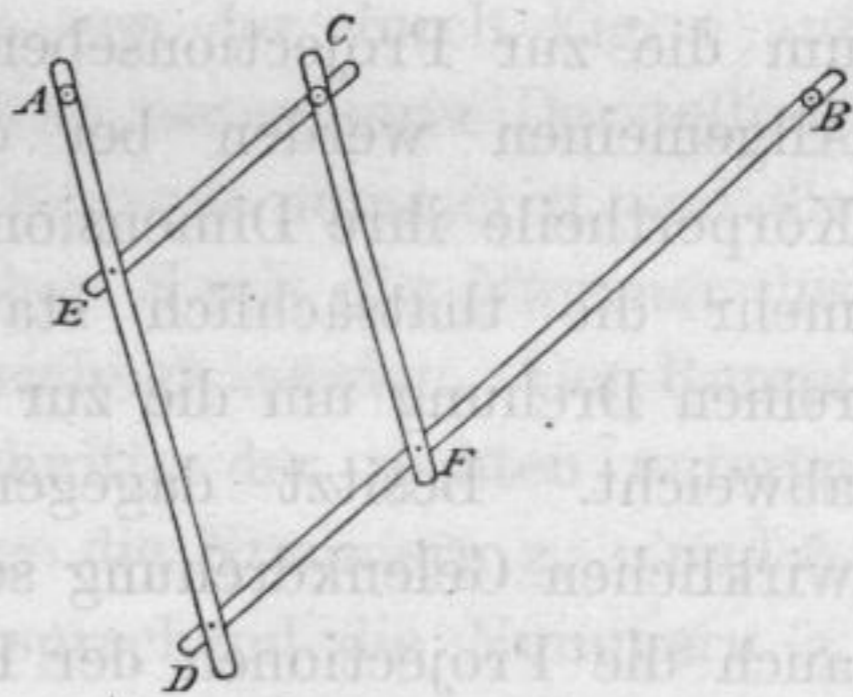
Cartonstreifen, AD , DB , EC und FC sind an den Stellen D , E , F und C durch Charnirgelenke mit parallelen Axen verbunden. Die Lage der Gelenkaxen und die Dimensionen der einzelnen Stäbe sind so bemessen, dass

$$AE:ED = DF:FB, \text{ ferner } EC = DF \text{ und } FC = DE,$$

so dass das Viereck $ECFD$ ein Parallelogramm darstellt. Dann lässt sich leicht einsehen, dass die drei Punkte A , C und B stets in gerader Linie liegen, und dass für jede Gelenkstellung stattfindet

$$AC:CB = AE:ED = DF:FB.$$

Die Längen der beiden Stäbe AD und DB können bis zu gewissem Grade ganz willkürlich gewählt werden; sie müssen nur den Bedingungen genügen, dass ihre Summe mindestens gleich der grössten und ihre Differenz höchstens gleich der kleinsten Entfernung ist, welche die beiden Punkte A und B annehmen können. In dem besonderen Falle, dass diese Punkte sich bis zum Zusammenfallen einander nähern können, müssen daher AD und DB gleich lang genommen werden; in allen anderen Fällen ist aber Gleichheit dieser beiden Strecken durchaus nicht erforderlich. Verbindet man den Mechanismus im Punkte A durch eine zu den vier Charniraxen parallele Axe gelenkig mit einer festen Unterlage, so stellt er den bekannten Storchschnabel dar; bewegt man dabei B auf einer Curve, so zeichnet C eine hierzu ähnliche, im Verhältniss $AC:AB$ verkleinerte Curve auf. Verbindet man dagegen den Mechanismus in den Punkten A und B gelenkig mit den Schwerpunkten zweier Körper, so giebt, vorausgesetzt, dass eine solche Verbindung überhaupt möglich ist, der Punkt C für jede Stellung der Körper zu einander den Gesamtschwerpunkt derselben an, falls die Strecken AE und ED , ebenso wie die Strecken DF und FB des Mechanismus, sich umgekehrt wie die Massen der beiden Körper verhalten. Im Allgemeinen muss man hierbei den Mechanismus in A und B durch Kugelgelenke mit den Schwerpunkten der beiden Körper verbinden. Nur in dem



Figur 1.

Falle, dass die Körper selbst durch ein Charnirgelenk mit einander verbunden sind, kann man diese Verbindungen in A und B durch blosse Charnirgelenke bewirken, deren Axen aber sowohl den vier Charniraxen des Mechanismus als auch gleichzeitig der Axe des die beiden Körper verbindenden Charnirgelenks parallel sein müssen.

Unter den Gelenken des menschlichen Körpers finden sich nur wenige, welche im streng mechanischen Sinne als Charnirgelenke angesehen werden können. Die meisten besitzen entweder mehrere Grade der Freiheit oder lassen wenigstens innerhalb gewisser Grenzen Schwankungen der Axe zu. Fasst man dagegen die Projection der Bewegung des menschlichen Körpers auf irgend eine Ebene ins Auge, so kommt von jeder Gelenkbewegung immer nur der Theil zum Vorschein, welcher in einer Drehung der Projectionen der beiden durch das Gelenk verbundenen Körpertheile um die zur Projectionsebene senkrechte Gelenkaxe besteht. Im Allgemeinen werden bei dieser Drehung die Projectionen der Körpertheile ihre Dimensionen ändern, und zwar um so mehr, je mehr die thatsächlich stattfindende Gelenkbewegung von einer reinen Drehung um die zur Projectionsebene senkrechte Gelenkaxe abweicht. Besitzt dagegen bei einer Bewegung die Axe der wirklichen Gelenkdrehung schon nahezu diese Richtung, so werden auch die Projectionen der Körpertheile ihre Grössen während der Bewegung nicht wesentlich ändern. Beim Gehen tritt nun dieser Fall für eine Projection ein. Hier finden in allen Gelenken die Drehungen annähernd um Axen von derselben Richtung statt, nämlich der zur Gangebene senkrechten Richtung; denn die Längsaxen aller Körpertheile bleiben bei ihrer Bewegung nahezu der Gangebene parallel. Es erscheinen daher die Längsaxen der Körpertheile in der Projection auf die Gangebene annähernd in ihrer wahren Grösse und erleiden nur verhältnissmässig geringe Aenderungen ihrer Länge bei der Bewegung.

Verschafft man sich nun ein in den Hauptgelenken bewegliches Modell der Projection des menschlichen Körpers auf die Medianebene aus Metallblech oder Carton, so kann man durch Veränderung der Gelenkstellungen mit demselben annähernd alle Bewegungsphasen des menschlichen Körpers beim Gehen in ihrer Projection auf die Gangebene richtig darstellen. Dabei brauchen die 12 Abschnitte, in welche man der früheren Versuchsanordnung entsprechend

den menschlichen Körper zerlegt denkt, nur durch Charnirgelenke mit parallelen, natürlich zur Gangebene senkrechten, Axen verbunden zu sein. An diesem Modell kann man nun leicht einen Mechanismus anbringen, welcher die Projection des Gesamtschwerpunktes auf die Gangebene automatisch anzeigt. Die einzelnen Theile desselben brauchen in diesem besonderen Falle nur durch Charnirgelenke untereinander und mit den Projectionen der Einzelschwerpunkte verbunden zu sein, deren Axen alle den Gelenkaxen des Modells parallel sind.

Tafel I veranschaulicht ein solches Modell der Projection des menschlichen Körpers mit Schwerpunktsmechanismus. Dasselbe ist seiner Zeit von mir aus Carton in halber Lebensgrösse ausgeführt worden¹⁾ und kann in Metall ausgeführt von Herrn Präcisionsmechaniker E. Zimmermann in Leipzig (Emilienstrasse 21) bezogen werden. Wie man leicht erkennt, besteht der Schwerpunktsmechanismus aus lauter Bestandtheilen von der durch Fig. 1 auf Seite 21 dargestellten Form. Zum Zwecke bequemerer Darstellung sind auf Tafel I die 12 Abschnitte des Körpers nummerirt und die Einzelschwerpunkte durch den Buchstaben *S* mit der Nummer des betreffenden Körpertheils als Index bezeichnet worden. Der Rumpf besitzt die Nummer 1, die drei Abschnitte der rechten unteren Extremität tragen in distaler Reihenfolge die Nummern 2, 4 und 6, die der linken unteren Extremität entsprechend die Nummern 3, 5 und 7, ferner die beiden Abschnitte der rechten oberen Extremität die Nummern 8 und 10 und die der linken oberen Extremität die Nummern 9 und 11. Endlich ist der Kopf mit der Nummer 12 versehen. Demnach bedeutet z. B. S_1 den Schwerpunkt des Rumpfes, S_7 den Schwerpunkt des linken Fusses u. s. w. Die Gelenke zwischen den einzelnen Körpertheilen sind mit dem Buchstaben *G* bezeichnet worden und tragen als Indices immer die beiden Nummern der durch das Gelenk verbundenen Glieder. So bedeutet z. B. $G_{1,2}$ das rechte Hüftgelenk, $G_{9,11}$ das linke Ellenbogengelenk u. s. w. Endlich sind auch die Gesamtschwerpunkte für mehrere Körpertheile mit mehreren Indices versehen worden, nämlich den Nummern sämtlicher Körpertheile, welche zu dem betreffenden Gesamt-

1) Vgl. Nr. 262 des Haupt-Kataloges mathematischer und mathematisch-physikalischer Modelle, Apparate und Instrumente, herausgegeben von der Deutschen Mathematiker-Vereinigung im Jahre 1892.

schwerpunkte gehören; wo es ging, sind diese Indices in gedrängter Form angegeben worden, wie z. B. in der Form 2 bis 7 für den Gesamtschwerpunkt beider Beine, oder 8 bis 11 für den Gesamtschwerpunkt beider Arme. Demnach bedeutet also z. B. $S_{2,4,6}$ den Schwerpunkt des ganzen rechten Beines, $S_{5,7}$ den Schwerpunkt des Systems linker Unterschenkel + Fuss, $S_{1,12}$ den Schwerpunkt des Systems Rumpf + Kopf, $S_{1,8}$ bis S_{12} den Schwerpunkt des ganzen auf den beiden Beinen ruhenden Abschnittes des menschlichen Körpers, u. s. w. Der Gesamtschwerpunkt des ganzen Körpers ist mit S_0 bezeichnet worden.

Die Figur auf Tafel I gibt die Dimensionen der einzelnen Körpertheile, und insbesondere die Längen der verschiedenen Cartonstreifen, in $\frac{1}{10}$ natürlicher Grösse wieder. Man kann sich daher mit Hülfe dieser Figur den ganzen Mechanismus leicht selbst herstellen. Es ist dabei besonders zu beachten, dass mit Ausnahme des Gesamtschwerpunktes S_0 alle mit nur einem Index versehenen Schwerpunkte Einzelschwerpunkte sind und daher am Modell feste Lage innerhalb eines Körpertheils besitzen. Dagegen ändern alle mit mehreren Indices versehenen Schwerpunkte als Systemschwerpunkte, ebenso wie der Gesamtschwerpunkt S_0 , beim Uebergang aus einer Bewegungsphase in eine andere im Allgemeinen ihre Lage relativ zu den einzelnen Körpertheilen. Die Abmessungen der einzelnen Theilmechanismen richten sich natürlich genau nach den früher angegebenen Verhältnisszahlen. So müssen z. B. für den zwischen S_5 und S_7 angebrachten Mechanismus, welcher die Schwerpunkte des linken Unterschenkels und Fusses zu dem Schwerpunkt $S_{5,7}$ des Systems linker Unterschenkel + Fuss zusammensetzt, die einzelnen Cartonstreifen, oder besser Metallstreifen, so gewählt sein, dass $S_5 S_{5,7} : S_{5,7} S_7 = 0,253 : 0,747$ (vgl. Seite 17). Der Schwerpunkt $S_{5,7}$ wird nun durch den zwischen ihm und dem Schwerpunkt S_3 des linken Oberschenkels eingelenkten Theilmechanismus mit S_3 zu dem Schwerpunkt $S_{3,5,7}$ des ganzen linken Beines zusammengesetzt. Die Längen der hierzu nöthigen Streifen müssen so bemessen sein, dass $S_3 S_{3,5,7} : S_{3,5,7} S_{5,7} = 0,379 : 0,621$. Der Theilmechanismus, welcher den Schwerpunkt des linken Beins $S_{3,5,7}$ mit dem des rechten Beines $S_{2,4,6}$ zu dem Gesamtschwerpunkt beider Beine S_{2} bis S_7 zusammensetzt, muss so construirt werden, dass der letztere immer genau in der Mitte zwischen den beiden ersteren liegt.

Da die Schwerpunkte beider Beine in der Projection zur vollständigen Deckung kommen können, so müssen hier sogar die beiden längeren Streifen von gleicher Länge sein; die beiden kürzeren Streifen müssen daher beide die halbe Länge eines langen Streifens besitzen. Die Längen der Stäbe des zwischen S_1 und S_{12} angebrachten Theilmechanismus, welcher die Schwerpunkte des Rumpfes und Kopfes zu dem Schwerpunkte des Systems Rumpf + Kopf vereinigt, müssen so gewählt sein, dass immer $S_1 S_{1,12} : S_{1,12} S_{12} = 0,142 : 0,858$. Die Theile des im Schwerpunkt $S_{2 \text{ bis } 7}$ für beide Beine und in dem Schwerpunkt $S_{1,8 \text{ bis } 12}$ des Systems Rumpf + Kopf + beide Arme andererseits eingelenkten Mechanismus, welcher schliesslich den Gesamtschwerpunkt S_0 des ganzen Körpers liefert, müssen in ihren Dimensionen dem Umstande Rechnung tragen, dass für alle Stellungen des menschlichen Körpers die Proportion gelten muss

$$S_{1,8 \text{ bis } 12} S_0 : S_0 S_{2 \text{ bis } 7} = 0,373 : 0,627 \text{ (vgl. Seite 17).}$$

Es wird nicht nöthig sein, weitere Erklärungen hinzuzufügen, da die Figur auf Tafel I sich selbst erklärt. Der Mechanismus führt eben die oben ausführlich auseinander gesetzte Construction des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers aus den Einzelschwerpunkten unter genauer Beachtung der oben mitgetheilten Verhältnisszahlen für die Projection auf die Gangebene automatisch aus. Er thut dies mit grosser Präcision, wenn er genau construirt ist. Die einzige Ungenauigkeit, welche seinen Angaben anhaftet, hat darin ihren Grund, dass die Projectionen der Längsaxen der Glieder auf die Gangebene im Verlauf eines Schrittes doch etwas ihre Länge ändern. Diese Fehlerquelle liesse sich noch vollkommen beseitigen, wenn man an den einzelnen Körpertheilen die Gelenke innerhalb gewisser Grenzen in ihrer Lage veränderlich machte, und nun durch einen Mechanismus von der Art der einzelnen Theilmechanismen dafür sorgte, dass der Einzelschwerpunkt des Körpertheils in jedem Falle die Längsaxe desselben in dem oben angegebenen (Seite 13 u. 14) bestimmten Verhältniss theilt.

Hat man sich die Projection des ganzen Bewegungsvorganges auf die Gangebene verschafft, so kann man dann mit Hülfe des beschriebenen Schwerpunktsmechanismus durch Auflegen desselben auf die einzelnen Bewegungsphasen die Bahn des Gesamtschwerpunktes des Körpers, sowie der einzelnen Systemschwerpunkte

direct in die Projection eintragen, oder durch kleine Bleistiftchen, welche an den betreffenden Gelenken des Mechanismus in der Richtung der Axe angebracht sind, selbstthätig eintragen lassen. Ist die Projection des Ganges auf Millimeterpapier aufgezeichnet, so lassen sich ferner ohne Weiteres zwei Coordinaten, nämlich die x - und z -Coordinate der Schwerpunkte, ablesen. Zur Gewinnung der y -Coordinate reicht natürlich der eine Mechanismus nicht aus, da er sich nur auf eine Projection bezieht. Man hätte dann noch einen zweiten Mechanismus von derselben Art zu verwenden, welcher der Projection auf die horizontale Bodenfläche oder auch auf die zur Gangrichtung senkrechte Ebene angepasst wäre. Da in diesen beiden Projectionen die Längsaxen der Glieder zum Theil sehr stark verkürzt erscheinen und überhaupt bei der Bewegung des Gehens sehr beträchtliche Längenänderungen erfahren, die man nicht, wie bei der Projection auf die Gangebene, vernachlässigen kann, so würde ein solcher Schwerpunktsmechanismus nach den obigen Auseinandersetzungen sehr complicirt werden. Es empfiehlt sich daher, wenn man nicht nur eine Projection des Schwerpunkts, sondern seine Lage im Raume feststellen will, sich ein räumliches Modell des menschlichen Körpers, etwa ein in den Hauptgelenken bewegliches Skelet zu verschaffen, und an diesem einen Schwerpunktsmechanismus nach demselben Princip anzubringen. Derselbe könnte genau so zusammengesetzt sein, wie der durch Tafel I veranschaulichte. Es müssten nur die Enden eines jeden Theilmeechanismus in den betreffenden Schwerpunkten durch Kugelgelenke mit den Knochen, bezüglich den benachbarten Theilmeechanismen verbunden sein. Zum Theil würde man dabei von den Knochen, z. B. von einigen Rippen oder von der Schädelkapsel, etwas wegnehmen müssen, um die einzelnen Stäbe des Mechanismus nicht in ihren Bewegungen zu hindern. Im Übrigen setzen sich der Construction eines solchen räumlichen Schwerpunktsmechanismus durchaus keine praktischen Schwierigkeiten entgegen. Es haben mir bisher nur die Mittel gefehlt, denselben ausführen zu lassen. Ein derartiger Mechanismus wird ebenso wie der aus Cartonstreifen thatsächlich ausgeführte sehr leicht spielen. Denn bewegt man z. B. irgend einen Körpertheil, etwa das System rechter Unterarm + Hand, so werden nicht alle Systemschwerpunkte ihren Ort ändern, sondern nur $S_{8,10}$, $S_{8 \text{ bis } 11}$, $S_{1,8 \text{ bis } 12}$ und S_0 . Dabei sind ferner die Excursionen dieser vier

Schwerpunkte um so kleiner, je grösser das zugehörige Massensystem ist; die kleinste Bewegung wird daher immer der Gesamtschwerpunkt S_0 des ganzen Körpers ausführen. Die Kraft, mit welcher die Bewegung der Schwerpunkte ausgeführt wird, ist nun aber nach dem Princip der virtuellen Geschwindigkeiten um so grösser, je kleiner die Verrückung. Es bedarf daher nur einer sehr geringen Anstrengung, um mit der Drehung des Unterarmes im Ellenbogengelenk den ganzen Mechanismus in Bewegung zu versetzen; der Gesamtschwerpunkt wird immer mit grossem Zwange auf diese Drehung reagiren.

B. Bestimmung der Schwerpunktsbahn aus den Hauptpunkten der einzelnen Abschnitte des menschlichen Körpers.

In der Mechanik des menschlichen Körpers, wie überhaupt in der Mechanik eines Systems von Körpern, welche durch Gelenke miteinander verbunden sind, spielt neben den Schwerpunkten noch eine andere Art von festen Punkten innerhalb der einzelnen Körpertheile eine wichtige Rolle. Die Lage eines jeden Einzelschwerpunktes hängt nur von der Vertheilung der Masse innerhalb des betreffenden Körpertheils ab, steht aber in gar keiner Beziehung zu den Massen der übrigen Abschnitte des menschlichen Körpers. Es gibt nun aber in jedem Körpertheil einen zweiten festen Punkt, welcher ausserdem dem Zusammenhange des betreffenden Gliedes mit allen übrigen Rechnung trägt und sogar in noch engerer Beziehung zu dem Gesamtschwerpunkte des menschlichen Körpers steht als der Einzelschwerpunkt selbst. Dieser Punkt, den ich Hauptpunkt des Körpertheils nenne, kann aufgefasst werden als der Schwerpunkt eines fingirten Massensystems, welches man dadurch erhält, dass man in dem Mittelpunkte eines jeden Gelenkes des betreffenden Körpertheils die Massen aller Körpertheile concentrirt denkt, welche durch dieses Gelenk entweder unmittelbar oder mittelbar mit dem fraglichen Körpertheile in Verbindung stehen.¹⁾ Man erhält also z. B. den Hauptpunkt des rechten Oberschenkels, wenn man im Mittelpunkte des rechten Kniegelenks die Massen des rechten Unterschenkels und Fusses, und im Mittel-

1) vgl. OTTO FISCHER. Die Arbeit der Muskeln und die lebendige Kraft des menschlichen Körpers. Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. Bd. XX. Nr. I.

punkt des rechten Hüftgelenks die Massen sämtlicher übrigen Körpertheile, also des Rumpfes, des ganzen linken Beins, der beiden Arme und des Kopfes, concentrirt annimmt, und nun den Schwerpunkt des so beschwerten Oberschenkels bestimmt. Das Massensystem, welches auf diese Weise aus dem Oberschenkel entsteht, besitzt das Gewicht des ganzen Körpers; ich bezeichne es als reducirtes Oberschenkelsystem. In entsprechender Weise stellt sich der Hauptpunkt des Rumpfes als Schwerpunkt des „reducirten Rumpfsystems“ dar, d. h. eines Massensystems, welches man dadurch erhält, dass man den Rumpf im Mittelpunkt eines jeden Schultergelenks durch die Masse des betreffenden Armes, im Mittelpunkt eines jeden Hüftgelenks durch die Masse des betreffenden Beins und im Mittelpunkt des Atlantooccipitalgelenks durch die Masse des Kopfes beschwert.

Wenn auch im Rumpfe der Hauptpunkt in der Nähe des Schwerpunktes zu suchen sein wird, so sieht man doch leicht ein, dass der Hauptpunkt des Oberschenkels verhältnissmässig weit von dem Schwerpunkte desselben entfernt sein muss; er wird ziemlich nahe am Hüftgelenk liegen in Folge der grossen Massenconcentration im Mittelpunkt des Hüftgelenks. Das Entsprechende wird für alle Extremitätenabschnitte gelten; überall wird der Hauptpunkt näher dem proximalen Gelenk als dem Schwerpunkt des betreffenden Gliedes zu liegen kommen.

Unter Zugrundelegung der Auffassung der Hauptpunkte als Schwerpunkte der 12 reducirten Systeme des menschlichen Körpers lässt sich die genaue Lage derselben für alle Körpertheile leicht bestimmen. Da der Ort des gemeinsamen Schwerpunktes mehrerer Massen nur von den Verhältnissen derselben, nicht aber von ihren absoluten Grössen abhängt, so kann man zu der Ermittlung der Hauptpunktlagen die auf Seite 16 angeführten Zahlen für das Verhältniss der Massen der einzelnen Körpertheile zu der Gesamtmasse des menschlichen Körpers verwenden.

Demnach stellt sich der Hauptpunkt eines Oberschenkels als der Gesamtschwerpunkt dreier im Hüftgelenkmittelpunkt, Kniegelenkmittelpunkt und Schwerpunkt des Oberschenkels concentrirten Massen dar, denen bezüglich die Verhältnisszahlen 0,81365; 0,07055 und 0,1158 zukommen. Setzt man diese drei Massensysteme in der oben angegebenen Weise successiv zusammen, indem man berücksichtigt, dass der Schwerpunkt des Oberschenkels auf

der Verbindungsstrecke des Hüftgelenk- und Kniegelenkmittelpunktes liegt und dieselbe im Verhältniss $0,44 : 0,56$ theilt, so ergibt sich, dass der ebenfalls auf dieser Verbindungsstrecke liegende Hauptpunkt des Oberschenkels dieselbe im Verhältniss $0,122 : 0,878$ theilt. Ist l die Entfernung der Mittelpunkte des Hüft- und Kniegelenks, so hat in Folge dessen der Hauptpunkt des Oberschenkels auf der Längsaxe desselben vom Hüftgelenkmittelpunkt den Abstand $0,122 \cdot l$ und vom Kniegelenkmittelpunkt den Abstand $0,878 \cdot l$.

Der Hauptpunkt eines Unterschenkels ist der Gesamtschwerpunkt dreier im Kniegelenkmittelpunkt, Mittelpunkt des oberen Sprunggelenks und Schwerpunkt des Unterschenkels concentrirten Massen von den Verhältnisszahlen $0,92945$; $0,017875$ und $0,052675$. Da der Schwerpunkt des Unterschenkels auf der Verbindungslinie der Mittelpunkte vom Knie- und Fussgelenk liegt und dieselbe im Verhältniss $0,42 : 0,58$ theilt, so befindet sich auch der Hauptpunkt des Unterschenkels auf dieser Linie; er theilt sie im Verhältniss $0,040 : 0,960$. Ist l die zwischen den Mittelpunkten der begrenzenden Gelenke gemessene Länge des Unterschenkels, so besitzt der Hauptpunkt des Unterschenkels von den Mittelpunkten des Knie- und Fussgelenks bezüglich die Abstände $0,040 \cdot l$ und $0,960 \cdot l$.

Der Hauptpunkt eines Fusses stellt sich nur als gemeinsamer Schwerpunkt zweier Massenpunkte dar, welche im Fussgelenkmittelpunkt und Schwerpunkt des Fusses concentrirt zu denken sind und bezüglich die Verhältnisszahlen $0,982125$ und $0,017875$ besitzen. Er theilt demnach die Verbindungsstrecke dieser beiden Punkte im Verhältniss $0,018 : 0,982$. Bezeichnet r die Entfernung zwischen dem Mittelpunkt des Fussgelenks und dem Schwerpunkt des Fusses, so besitzt der Hauptpunkt des Fusses von diesen beiden Punkten bezüglich die Abstände $0,018 \cdot r$ und $0,982 \cdot r$. Er liegt also sehr nahe am Mittelpunkt des Fussgelenks.

Der Hauptpunkt eines Oberarms bedeutet den Gesamtschwerpunkt dreier im Mittelpunkt des Schultergelenks, Mittelpunkt des Ellbogengelenks und Schwerpunkt des Oberarms concentrirten Massen von den Verhältnisszahlen $0,935125$; $0,031225$ und $0,03365$. Berücksichtigt man, dass der Schwerpunkt des Oberarms auf der Verbindungsstrecke der Mittelpunkte des Schultergelenks und Ellbogengelenks liegt und dieselbe im Verhältniss $0,47 : 0,53$ theilt, so findet man, dass der Hauptpunkt des Ober-

arms sich ebenfalls auf dieser Verbindungsstrecke befindet, und dass er dieselbe im Verhältniss $0,047 : 0,953$ theilt. Bei einer Länge l des Oberarms, gemessen zwischen den beiden Gelenkmittelpunkten, besitzt demnach der Hauptpunkt desselben von den Mittelpunkten des Schulter- und Ellbogengelenks bezüglich die Abstände $0,047 \cdot l$ und $0,953 \cdot l$.

Der Hauptpunkt des Systems Unterarm plus Hand jeder Seite ist der gemeinsame Schwerpunkt von nur zwei Massenpunkten, welche im Mittelpunkt des Ellbogengelenks und im Schwerpunkte des Systems Unterarm plus Hand concentrirt zu denken sind, behaftet mit den Verhältnisszahlen $0,968775$ und $0,031225$. Da bei mittlerer Pronationsstellung der Hand der Schwerpunkt des Systems Unterarm plus Hand auf der Verbindungsstrecke der Mittelpunkte des Ellbogengelenks und Handgelenks liegt und dieselbe im Verhältniss $0,66 : 0,34$ theilt, so wird der Hauptpunkt des Systems Unterarm plus Hand ebenfalls auf dieser Verbindungsstrecke zu suchen sein; die Rechnung ergibt, dass er dieselbe im Verhältniss $0,021 : 0,979$ theilt. Bezeichnet l die Entfernung zwischen den Mittelpunkten des Ellbogengelenks und Handgelenks, so wird in Folge dessen der Hauptpunkt des Systems Unterarm plus Hand vom Ellbogengelenkmittelpunkt den Abstand $0,021 \cdot l$ und vom Handgelenkmittelpunkt den Abstand $0,979 \cdot l$ besitzen, also sehr nahe an ersterem liegen. Einen Hauptpunkt des Unterarms und einen solchen der Hand allein aufzusuchen, hat für die vorliegende Untersuchung des Ganges keinen Zweck, da bei derselben die Hand zum Unterarm festgestellt war, und also der Unterarm mit der Hand zusammen als ein starrer Körpertheil aufgefasst wurde. Für die Untersuchung anderer Bewegungsarten des menschlichen Körpers, wie z. B. denen eines Klavierspielers wird man dagegen nicht nur die Einzelhauptpunkte des Unterarms und der Mittelhand, sondern sogar die Hauptpunkte der Fingerglieder berücksichtigen müssen.

Der Hauptpunkt des Rumpfes stellt den Gesamtschwerpunkt von nicht weniger als 6 Massenpunkten dar, welche in den Mittelpunkten der beiden Hüftgelenke, der beiden Schultergelenke, des Atlantooccipitalgelenks und im Schwerpunkt des Rumpfes concentrirt zu denken sind. Dabei kommt einer jeden in einem Hüftgelenkmittelpunkt concentrirten Masse die Verhältnisszahl $0,18635$, einer jeden in einem Schultergelenkmittelpunkt concentrirten Masse

die Verhältnisszahl 0,064875 und den im Kopfgelenkmittelpunkt und im Schwerpunkt des Rumpfs concentrirten Massen bezüglich die Verhältnisszahl 0,07055 und 0,4270 zu. Zur Vereinfachung der Hauptpunktsbestimmung kann man die beiden in den Hüftgelenkmittelpunkten concentrirten Massen durch einen im Mittelpunkt der Hüftlinie befindlichen Massenpunkt von der Verhältnisszahl 0,3727, und die beiden in den Schultergelenkmittelpunkten concentrirten Massen durch einen im Mittelpunkt der Schulterlinie angebrachten Massenpunkt von der Verhältnisszahl 0,12975 ersetzen. Dann hat man nur noch 4 Massenpunkte zum gemeinsamen Schwerpunkt zusammensetzen, welche alle auf einer Geraden, nämlich der Rumpflinie, liegen. Auf dieser Linie wird in Folge dessen auch der Hauptpunkt des Rumpfes zu finden sein. Da der Abstand des Kopfgelenkmittelpunktes von der Mitte der Hüftlinie sich zu der Entfernung der Hüft- und Schulterlinienmitte wie 1,35 : 1 verhält, und ferner der Schwerpunkt des Rumpfes die Verbindungsstrecke der Mittelpunkte der Hüftlinie und Schulterlinie im Verhältniss 0,53 : 0,47 theilt, so ergibt die Rechnung, dass der Hauptpunkt des Rumpfes diese letztere Verbindungsstrecke im Verhältniss 0,451 : 0,549 theilt. Die Verbindungsstrecke zwischen den Mittelpunkten der Hüftlinie und des Kopfgelenks wird dagegen durch den Hauptpunkt des Rumpfes im Verhältniss 0,333 : 0,667 getheilt. Ist h die Entfernung zwischen den Mittelpunkten der Hüft- und Schulterlinie und l die Entfernung zwischen der Hüftlinienmitte und dem Mittelpunkt des Kopfgelenks, so besitzt demnach der Hauptpunkt des Rumpfes vom Mittelpunkt der Hüftlinie den Abstand $0,451 \cdot h$ oder $0,333 \cdot l$, vom Mittelpunkt der Schulterlinie den Abstand $0,549 \cdot h$ und vom Mittelpunkt des Kopfgelenks den Abstand $0,667 \cdot l$. Da l 1,35 mal so gross ist als h , so können natürlich die beiden zuerst angegebenen Abstände nur gleich sein, wenn 0,451 auch 1,35 mal so gross ist als 0,333. Dies ist aber thatsächlich der Fall. Ist ferner b die halbe Entfernung der beiden Hüftgelenkmittelpunkte voneinander und a der halbe Abstand der beiden Schultergelenkmittelpunkte, so wird bei aufrechter Haltung des Körpers, wo die Hüftlinie und Schulterlinie annähernd senkrecht auf der Rumpflinie stehen, nach dem pythagoreischen Lehrsatz die Entfernung des Rumpfhauptpunktes von einem jeden Hüftgelenkmittelpunkt $\sqrt{0,203 \cdot h^2 + b^2}$ oder $\sqrt{0,111 \cdot l^2 + b^2}$, und die Entfernung desselben von einem jeden

Schultergelenkmittelpunkt $\sqrt{0,301 \cdot h^2 + a^2}$ betragen. Diese Abstände werden natürlich ungenau, sobald sich eine der beiden Linien gegen die Rumpflinie neigt; sie können daher nur als Mittelwerte betrachtet werden.

Im I. Theil der vorliegenden Untersuchung ist schon (vgl. Seite 310 ff.) darauf aufmerksam gemacht worden, dass die relative Bewegung des Kopfes zum Rumpfe beim Gehen sich streng genommen nicht als einfache Drehung um ein zum Rumpfe festes Drehcentrum auffassen lässt, da die Halswirbelsäule dabei sich etwas verbiegt. Will man trotzdem die Annahme eines festen Drehcentrums machen, um die ziemlich verwickelten Bewegungen des Kopfes zu den mittleren Partien des Rumpfes doch wenigstens annähernd berücksichtigen zu können, so wird man der wahren Bewegung näher kommen und auch der Verbiegung der Halswirbelsäule bis zu gewissem Grade Rechnung tragen, wenn man das feste Drehcentrum nicht in den Mittelpunkt des Atlanto-occipitalgelenks, sondern viel tiefer, etwa in die Gegend des unteren Halswirbelendes verlegt. Aus diesem Grunde sind schon im ersten Theil die Bewegungen des Kopfes auf den Mittelpunkt der Schulterlinie bezogen worden, indem die Drehungen der Verbindungslinie der Schulterlinienmitte mit dem Scheitelpunkt des Kopfes, welche als „Kopflinie“ bezeichnet wurde, relativ zum Rumpfe untersucht wurden. Diese Annahme über den Ort des Drehcentrums des Kopfes bedingt nun eine etwas andere Lage des Rumpfhauptpunktes; denn sie ist gleichbedeutend damit, dass der Kopf im Mittelpunkt der Schulterlinie durch ein Gelenk mit dem Rumpfe verbunden ist, im Übrigen aber eine starre Masse darstellt. Für die Bestimmung des Hauptpunktes im Rumpf hat man dann die mit der Verhältnisszahl 0,07055 behaftete Masse des Kopfes im Mittelpunkt der Schulterlinie concentrirt zu denken. Dies bedingt eine Verschiebung des Rumpfhauptpunktes auf der Rumpflinie nach unten, indem derselbe die Verbindungsstrecke der Mittelpunkte von Hüft- und Schulterlinie im Verhältniss 0,427 : 0,573 theilt. Der Abstand des Hauptpunktes von der Hüftlinienmitte würde demnach nur $0,427 \cdot h$, der von der Schulterlinienmitte dagegen $0,573 \cdot h$ betragen. Der Unterschied zwischen diesen Angaben und den früheren auf Seite 31 ist gering; er beträgt 0,024, also noch nicht ganz $2\frac{1}{2}$ Procent, der Entfernung zwischen Hüft- und Schulterlinienmitte. Da die wirklichen Bewegungen des Kopfes relativ

zum Rumpfe nur durch die Annahme eines zwischen dem unteren Ende der Halswirbelsäule und dem Kopfgelenk befindliches instantanes Drehcentrum von wechselnder Lage getroffen werden, so erkennt man aus diesem geringen Unterschiede zwischen den äussersten Grenzen des Centrums, dass man weder bei der ersten noch bei der zweiten gemachten Annahme Fehler begeht, welche im Missverhältniss zu der sonst erreichten Genauigkeit stehen. Bei der zweiten Annahme würde der Hauptpunkt des Rumpfes von je einem Hüftgelenkmittelpunkt bezüglich Schultergelenkmittelpunkt die Entfernung $\sqrt{0,182 \cdot h^2 + b^2}$ bezüglich $\sqrt{0,328 \cdot h^2 + a^2}$ besitzen.

Für den Hauptpunkt des Kopfes erhält man auch zwei verschiedene Lagen, je nachdem man das Drehcentrum in das Kopfgelenk oder in die Schulterlinie verlegt. Im ersten Falle stellt der Hauptpunkt des Kopfes den gemeinsamen Schwerpunkt zweier im Mittelpunkt des Atlantooccipitalgelenks und Schwerpunkt des Kopfes concentrirten Massen dar, deren Verhältnisszahlen 0,92945 und 0,07055 sind. Dabei liegt er, ebenso wie der Kopfschwerpunkt, sehr annähernd auf der Verbindungsstrecke des Kopfgelenkmittelpunktes mit dem Kopfscheitelpunkt. Da der Schwerpunkt des Kopfes diese Verbindungsstrecke im Verhältniss 0,26 : 0,74 theilt, so ergibt die Rechnung, dass der Hauptpunkt des Kopfes dieselbe im Verhältniss 0,018 : 0,982 theilt. Ist l die Länge dieser Strecke, so beträgt der Abstand des Hauptpunktes vom Kopfgelenkmittelpunkt $0,018 \cdot l$ und vom Kopfscheitelpunkt $0,982 \cdot l$.

Im zweiten Falle, wenn das Drehcentrum mit dem Mittelpunkt der Schulterlinie zusammenfällt, hat der Hauptpunkt einen wesentlich anderen Ort, denn derselbe hängt ja hauptsächlich von der Lage der Gelenkverbindungen des betreffenden Körperteils mit anderen ab. Der Hauptpunkt stellt sich auch bei dieser zweiten Annahme als gemeinsamer Schwerpunkt zweier Massenpunkte von den Verhältnisszahlen 0,92945 und 0,07055 dar, nur fällt der erste jetzt in den Mittelpunkt der Schulterlinie hinein. Der Schwerpunkt des Kopfes liegt nun nach den früheren Angaben (Seite 14) auf der Verbindungsstrecke zwischen dem Mittelpunkt der Schulterlinie und dem Kopfscheitelpunkt und theilt dieselbe beim I. und II. Versuch wie 0,70 : 0,30 und beim III. Versuch wie 0,68 : 0,32. Daraus ergibt sich, dass der Hauptpunkt des Kopfes dieselbe Strecke beim I. und II. Ver-

such im Verhältniss $0,049 : 0,951$ und beim III. Versuch im Verhältniss $0,048 : 0,952$ theilt und ebenfalls auf der Kopflinie liegt. Bedeutet h die Entfernung zwischen dem Mittelpunkt der Schulterlinie und dem Kopfscheitelpunkt, so besitzt demnach der Hauptpunkt des Kopfes von diesen beiden Punkten bezüglich die Abstände $0,049 \cdot h$ und $0,951 \cdot h$ beim I. und II. Versuch und $0,048 \cdot h$ und $0,952 \cdot h$ beim III. Versuch; er liegt also bei dieser zweiten Annahme sehr nahe an der Schulterlinie. —

Damit ist die Lage der Hauptpunkte sämtlicher 12 Körperabschnitte für jedes Individuum ermittelt, welchem die auf Seite 16 angegebenen normalen Massenverhältnisse der einzelnen Körpertheile zukommen. Die Angaben über die Abstände der Hauptpunkte von den benachbarten Gelenkmittelpunkten sind ganz allgemein gemacht worden, damit man im gegebenen Falle nach directer Messung der Dimensionen des betreffenden Individuums diese Abstände leicht berechnen kann.

Die Strecken zwischen den Mittelpunkten der zu einem Körpertheil gehörenden Gelenke und dem Hauptpunkte dieses Körpertheils führen den Namen „Hauptstrecken“. Demnach besitzen bei der getroffenen Eintheilung des Körpers der Oberschenkel, Unterschenkel und Oberarm je 2 Hauptstrecken, das System Unterarm + Hand, der Fuss und der Kopf je 1 Hauptstrecke, dagegen der Rumpf 5 Hauptstrecken.

Mit Hülfe der Hauptpunkte und Hauptstrecken kann man nun auf die einfachste Weise durch Construction zu dem Ort des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers gelangen. Man braucht nur von dem Hauptpunkte irgend eines der 12 Körpertheile aus in beliebiger Reihenfolge diejenigen Hauptstrecken der übrigen 11 Körpertheile unter Beibehaltung ihrer im Körper jeweils eingenommenen Richtung aneinander zu setzen, welche innerhalb des Körpers diesem Hauptpunkte zugekehrt sind. Der Endpunkt des auf diese Weise entstehenden gebrochenen Linienzuges wird dann stets mit dem Gesamtschwerpunkte des menschlichen Körpers zusammenfallen. Führt man diese Construction nicht im Raume, sondern in der Projection des Körpers auf irgend eine Ebene aus, indem man natürlich dann die Projectionen der betreffenden Hauptstrecken zu dem gebrochenen Linienzug zusammensetzt, so erhält man die Projection des Gesamtschwerpunktes auf diese Ebene. Den ausführlichen Beweis für

diesen Satz habe ich in meiner oben angeführten Abhandlung „Ueber die Arbeit der Muskeln und die lebendige Kraft des menschlichen Körpers“ auf Seite 72 ff. erbracht, so dass hier auf denselben verwiesen werden kann.

Benutzt man beispielsweise den Hauptpunkt des Rumpfes als Ausgangspunkt, so setzt sich also im Raume der gebrochene Linienzug zusammen aus den beiden Verbindungsstrecken eines jeden Hüftgelenkmittelpunktes mit dem Hauptpunkt seines Oberschenkels, den beiden Verbindungsstrecken eines jeden Kniegelenkmittelpunktes mit dem Hauptpunkt seines Unterschenkels, den beiden Verbindungsstrecken eines jeden Fussgelenkmittelpunktes mit dem Hauptpunkt seines Fusses, den beiden Verbindungsstrecken eines jeden Schultergelenkmittelpunktes mit dem Hauptpunkt seines Oberarmes, den beiden Verbindungsstrecken eines jeden Ellbogengelenks mit dem Hauptpunkt des zugehörigen Systems Unterarm + Hand und endlich der Verbindungsstrecke des Kopfgelenkmittelpunktes mit dem Hauptpunkt des Kopfes. An Stelle der letzteren kann auch die grössere Verbindungsstrecke des Mittelpunktes der Schulterlinie mit demjenigen Hauptpunkte des Kopfes, welcher dem in der Schulterlinie angenommenen Drehcentrum des Kopfes entspricht, verwendet werden; nur muss man in diesem Falle dann auch von dem dieser Annahme entsprechenden tiefer gelegenen Hauptpunkte des Rumpfes bei der Construction ausgehen. Es lässt sich leicht nachweisen, dass man in beiden Fällen zu dem gleichen Endresultat gelangt. Da nach den früheren Angaben der Schwerpunkt des Kopfes die Verbindungsstrecke des Kopfgelenkmittelpunktes mit dem Kopfscheitelpunkt im Verhältniss $0,26 : 0,74$ und die Verbindungsstrecke der Schulterlinienmitte mit dem Kopfscheitel im Verhältniss $0,70 : 0,30$ theilt, so kann man leicht berechnen, dass die erstere Verbindungsstrecke im Verhältniss $0,68 : 1$ und die letztere im Verhältniss $1,68 : 1$ zu der Verbindungsstrecke zwischen dem Mittelpunkt der Schulterlinie und dem Kopfgelenkmittelpunkt steht. Diese steht nun ihrerseits zu dem Abstand zwischen den Mitten der Hüft- und Schulterlinie im Verhältniss $0,35 : 1$. Es verhalten sich daher die Verbindungsstrecke des Kopfgelenkmittelpunktes mit dem Kopfscheitelpunkt bezüglich die Verbindungsstrecke der Schulterlinienmitte mit dem Kopfscheitelpunkt zu der Verbindungsstrecke der Mitten von Hüft- und Schulterlinie wie $0,24 : 1$ bezüglich

0,59 : 1. Daraus ergibt sich aber, dass die beiden verschiedenen Hauptstrecken des Kopfes von der Länge $0,018 \cdot l$ bezüglich $0,049 \cdot h$ (vgl. Seite 33 und 34) sich zu dem Abstand der Mittelpunkte der Hüft- und Schulterlinie verhalten wie 0,004 : 1 bezüglich 0,028 : 1. Es ist also die Hauptstrecke für den Fall, dass das Drehcentrum des Kopfes in das Kopfgelenk fällt, um 2,4 Procent des Abstandes der Hüft- und Schulterlinienmitte kleiner als wenn das Drehcentrum in der Schulterlinie liegt. Um gerade so viel liegt aber im ersten Falle der Hauptpunkt des Rumpfes auf der Rumpflinie höher als im letzten (vgl. Seite 32). Es wird daher der Gesamtschwerpunkt des Körpers in der Normalstellung in beiden Fällen absolut genau, bei allen anderen Stellungen des Körpers wenigstens mit genügender Genauigkeit an demselben Ort gefunden werden.

Anstatt von dem Hauptpunkte des Rumpfes kann man bei der Construction des Gesamtschwerpunktes von jedem beliebigen anderen Hauptpunkte ausgehen. So empfiehlt es sich z. B. den Hauptpunkt des auf dem Boden aufstehenden Fusses als Ausgangspunkt zu verwenden, wenn man die Bewegungen des Schwerpunktes untersuchen will, während der Körper beim Gehen nur das eine Bein aufgesetzt hat. Dann hat man aber zum Theil andere Hauptstrecken zu verwenden, nämlich für den Unterschenkel des aufstehenden Beins die Verbindungsstrecke zwischen dem Mittelpunkt des Fussgelenks und dem Hauptpunkt des Unterschenkels, für den Oberschenkel desselben Beins die Verbindungsstrecke des Kniegelenkmittelpunktes mit dem Hauptpunkt des Oberschenkels. Die Hauptstrecke des aufgesetzten Fusses kommt jetzt in Wegfall, dafür tritt aber eine Hauptstrecke des Rumpfes ein, nämlich die Verbindungsstrecke des Hüftgelenkmittelpunktes des aufgesetzten Beins mit dem Hauptpunkt des Rumpfes; die Hauptstrecken der übrigen 8 Körpertheile sind dieselben wie in dem Falle, dass von dem Rumpfhauptpunkte ausgegangen wird.

Als Beispiel für diese Methode der Gewinnung des Gesamtschwerpunktes ist auf Tafel II die Construction für die Bewegungsphase Nr. 11 des I. Versuches vom Hauptpunkte des Rumpfes aus in zwei Projectionen, auf die Gangebene und auf die zur Gangrichtung senkrechte Ebene, in natürlicher Grösse durchgeführt worden. Da die beim Ausgang vom Rumpfhauptpunkte zu verwendenden Hauptstrecken relativ klein sind, so nimmt der ge-

brochene Linienzug, selbst wenn die wahren Längen der Hauptstrecken verwendet werden, nur einen verhältnissmässig kleinen Raum ein. Darin liegt eine besondere Empfehlung der Construction vom Rumpfhauptpunkte aus. Die verwendete Reihenfolge der Hauptstrecken ist aus Tafel II ersichtlich. Um zu zeigen, dass dieselbe für das Endresultat ohne Belang ist, findet sich in der Figur mit punktirten Linien gezeichnet die Construction noch einmal bei anderer Reihenfolge der Hauptstrecken angegeben. Zur Orientirung über die Lage des Rumpfhauptpunktes H_1 und Gesamtschwerpunktes S_0 im Körper sind ausserdem in der Projection auf die Gangebene die Contouren der beiden Femurköpfe angedeutet. —

Die Construction des Gesamtschwerpunktes mit Hülfe der Hauptpunkte besitzt nun ihre grossen Vorzüge gegenüber der gebräuchlichen, unter A auseinandergesetzten Methode der Zusammensetzung der einzelnen Schwerpunkte. Zunächst führt sie viel schneller zum Ziele als diese. Hat man einmal die Lage der Hauptpunkte innerhalb der einzelnen Körpertheile festgestellt, so läuft die Construction des Gesamtschwerpunktes nur noch auf eine geometrische Addition, d. h. ein Aneinandersetzen von 11 bestimmten, durch die Hauptpunkte gegebenen Strecken hinaus. Bei der Construction mit Hülfe der Einzelschwerpunkte hat man dagegen eben so viel Verbindungsstrecken zwischen einzelnen Schwerpunkten in bestimmten Verhältnissen zu theilen. Die Ermittlung der Hauptpunkte selbst erfordert aber nicht mehr Arbeit als die Bestimmung der Einzelschwerpunkte; denn in beiden Fällen handelt es sich darum, die Längsaxen der einzelnen Körpertheile in gegebenen Verhältnissen zu theilen. Viel wichtiger als dieser praktische Vortheil, den man durch die Verwendung der Hauptpunkte für die Construction des Gesamtschwerpunktes gewinnt, ist die Thatsache, dass man in den Hauptstrecken direct ein Maass besitzt für den Einfluss, den die Bewegung der verschiedenen Körpertheile und Systeme von Körpertheilen auf die Lage des Gesamtschwerpunktes ausübt. Bewegt man z. B. in der Haltung Nr. 11 des I. Versuchs, für welche die Construction des Gesamtschwerpunktes auf Tafel II ausgeführt ist, allein den Kopf, so wird von den 11 Hauptstrecken nur die letzte $\overline{KS_0}$ ihre Richtung ändern, d. h. sich um den Punkt K drehen. Es beschreibt demnach bei jeder Drehung des Kopfes um den Mittelpunkt der

Schulterlinie (vgl. Seite 32) der Gesamtschwerpunkt S_0 des menschlichen Körpers einen Kreis, dessen Radius die Hauptstrecke des Kopfes ist. Das Centrum dieses Kreises erhält man, indem man von S_0 aus die in entgegengesetzter Richtung genommene Hauptstrecke des Kopfes abträgt. Dreht man ferner das ganze rechte Bein um eine Axe des Hüftgelenks, indem man dabei die in Bewegungsphase Nr. 11 des I. Versuchs eingenommenen Gelenkstellungen im Knie- und Fussgelenk beibehält, so wird, wenn alle anderen Körpertheile in Ruhe bleiben, der Gesamtschwerpunkt S_0 ebenfalls einen Kreis beschreiben. Der Radius dieser Kreisbahn wird erhalten, indem man die drei dem Rumpfe zuzuliegenden Hauptstrecken des rechten Oberschenkels, Unterschenkels und Fusses in ihrer jeweils eingenommenen Richtung aneinander setzt; er ist also gleich der geometrischen Summe dieser drei Hauptstrecken. Dies lässt sich unmittelbar einsehen, wenn man die andere auf Tafel II mit punktierten Linien angegebene Construction in's Auge fasst. Die drei letzten Strecken des gebrochenen Linienzuges sind die Hauptstrecken der Abschnitte des rechten Beins. Bleiben die Gelenkstellungen im Knie- und Fussgelenk erhalten, so werden auch die letzteren ihre relative Winkelstellung beibehalten, und es wird daher bei den Drehungen des ganzen Beins der Schwerpunkt S_0 einen Kreis um L' beschreiben, dessen Radius die constante Verbindungsstrecke $L'S_0$ ist. Zu dem Mittelpunkt L' dieses Kreises gelangt man vom Gesamtschwerpunkte, indem man die drei verwendeten Hauptstrecken des rechten Beins in umgekehrter Richtung von S_0 aus nach einander abträgt. In entsprechender Weise findet man, dass bei alleiniger Bewegung des Systems Unterarm + Hand der Gesamtschwerpunkt einen Kreis mit der Hauptstrecke dieses Systems als Radius, und bei alleiniger Bewegung eines Armes mit festgestelltem Ellbogengelenk einen Kreis mit einem Radius gleich der geometrischen Summe der dem Rumpf zugekehrten Hauptstrecken der beiden Abschnitte des Armes beschreibt.

Es ist schon früher hervorgehoben worden, dass die Hauptpunkte in engem Zusammenhang mit der Gliederung des Körpers stehen. Würde man für die Untersuchung einer bestimmten Bewegung das ganze Bein als eine starre Masse auffassen können, weil bei den betrachteten Bewegungen thatsächlich keine Aenderung in den Gelenkstellungen des Knie- und Fussgelenks eintritt,

so wäre es zwecklos, besondere Hauptpunkte für die drei Abschnitte des Beins zu unterscheiden. Man würde in diesem Falle nur einen Hauptpunkt des ganzen Beins annehmen; die Lage desselben steht in sehr enger Beziehung zu den Hauptpunkten der drei Abschnitte. Es lässt sich leicht nachweisen, dass man zum Hauptpunkte des ganzen Beins gelangt, wenn man vom Mittelpunkt des Hüftgelenks aus die drei zu Oberschenkel, Unterschenkel und Fuss gehörenden proximalen Hauptstrecken unter Beibehaltung ihrer wirklichen Richtung aneinandersetzt. Dies ist einfach eine Folge davon, dass der Gesamtschwerpunkt bei alleiniger Bewegung des im Knie- und Fussgelenk starr gemachten Beins einen Kreis beschreibt, dessen Radius die geometrische Summe der proximalen Hauptstrecken der drei Abschnitte des Beins ist. Es würde also bei der zur Bewegungsphase Nr. 11 des I. Versuchs gehörenden Haltung des Beins die Strecke $\overline{L'S_0}$ auf Tafel II sowohl der Grösse als der Richtung nach die Hauptstrecke des ganzen rechten Beins darstellen, und daher in derselben Richtung und Entfernung vom Hüftgelenkmittelpunkt der Hauptpunkt des ganzen Beins zu suchen sein.

Der Hauptpunkt des ganzen Beins kann nach dem Früheren als Schwerpunkt zweier Massen angesehen werden, von denen die eine im Schwerpunkt des ganzen Beins und die andere im Hüftgelenkmittelpunkt concentrirt ist; die erste ist gleich der Masse des ganzen Beins, die letzte gleich der Gesamtmasse des menschlichen Körpers vermindert um die Masse des Beins. Daraus geht hervor, dass man rückwärts vom Hauptpunkte des ganzen Beins auch sehr leicht zu dem Schwerpunkte desselben gelangen kann. Man braucht nur die Verbindungsstrecke des Hüftgelenkmittelpunktes mit dem Hauptpunkt des ganzen Beins im Verhältniss der Gesamtmasse des menschlichen Körpers zu der Masse des ganzen Beins zu vergrössern. Zu demselben Ziele gelangt man, wenn man die proximalen Hauptstrecken von Oberschenkel, Unterschenkel und Fuss in demselben Verhältniss vergrössert und dann geometrisch addirt. Diese vergrösserten Hauptstrecken gehören dann zu festen Punkten der drei Abschnitte des Beins, welche als Hauptpunkte anzusprechen sind, wenn man das Bein vollständig vom übrigen Körper abgelöst denkt und als selbständiges Körpersystem behandelt. Dies geht ohne Weiteres daraus hervor, dass diese Punkte bei der Construction des Schwerpunktes des

ganzen Beins genau dieselbe Rolle spielen, wie die eigentlichen Hauptpunkte bei der Construction des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers. Man kann diese Punkte als die zum ganzen Bein gehörenden „partiellen Hauptpunkte“ bezeichnen. In entsprechender Weise erhält man als partielle Hauptpunkte des Systems Unterschenkel + Fuss Punkte, deren Entfernungen vom Mittelpunkt des Knie- bezüglich Fussgelenks sich zu den Längen der proximalen Hauptstrecken des Unterschenkels und Fusses wie die Gesamtmasse des Körpers zu der Masse des Systems Unterschenkel + Fuss verhalten. Für den ganzen Arm würden die partiellen Hauptpunkte auf den Längsaxen des Oberarms und Unterarms in Abständen vom Schulter- bezüglich Ellbogengelenk liegen, welche sich zu den proximalen Hauptstrecken der beiden Abschnitte des Armes wie die Masse des ganzen Körpers zu der Masse des ganzen Armes verhalten. Unter Umständen empfiehlt es sich auch, die partiellen Hauptpunkte an Stelle der wirklichen zu verwenden, ohne dass man das System, also etwa den ganzen Arm, vom übrigen Körper abgelöst denkt. Dies ist z. B. der Fall, wenn der Rumpf und der Schultergürtel als fixirt angenommen werden können, und nun der Arm sich wie ein selbständiges Körpersystem um einen im Raume festen Punkt, nämlich den mit dem Rumpfe fixirten Mittelpunkt des Schultergelenks, dreht. Dann kann man die Massen aller übrigen Körpertheile und auch den Gesamtschwerpunkt des menschlichen Körpers ganz ausser Betracht lassen und nur nach dem Verhalten des Schwerpunktes des ganzen Armes fragen. Hierzu braucht man aber nur die partiellen Hauptpunkte. Es sind daher in früheren Arbeiten¹⁾, in denen die Wirkungsweise der Muskeln auf den Arm untersucht wurde unter der Voraussetzung, dass Rumpf und Schultergürtel durch äussere Kräfte vollkommen fixirt sind, ausschliesslich die partiellen Hauptpunkte und Hauptstrecken der beiden Abschnitte des Armes verwendet worden. Da das Verhältniss der Masse des ganzen Armes zu der Gesamtmasse des menschlichen Körpers nach Seite 16 den Werth 0,064875 besitzt, so sind beim Arm die dem Schultergelenk zugekehrten partiellen Hauptstrecken rund

1) Vgl. OTTO FISCHER, Beiträge zu einer Muskeldynamik I und II, und Beiträge zur Muskelstatik I. Abhandlungen der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. Bd. XXII Nr. II, Bd. XXIII Nr. VI und Bd. XXIII Nr. IV.

15 $\frac{1}{2}$ mal so gross als die wirklichen Hauptstrecken des dem menschlichen Körper angegliederten Armes.

Man sieht also, dass man mit Hülfe der Hauptpunkte nicht nur zu dem Gesamtschwerpunkte des ganzen Körpers, sondern auch auf sehr einfache Weise zu den Schwerpunkten einzelner Systeme gelangen kann. Es ist jedoch dabei nicht zu verkennen, dass die sich nöthig machenden starken Vergrösserungen der Hauptstrecken die Genauigkeit der Resultate etwas beeinträchtigen. Immerhin steht auch in Beziehung auf die Gewinnung der Schwerpunkte einzelner Systeme die Construction des Gesamtschwerpunktes mit Hülfe der Hauptpunkte nicht wesentlich hinter jener zurück, welche von den Einzelschwerpunkten der Körpertheile ausgeht.

Wie die Construction des Gesamtschwerpunktes sich unter Zugrundelegung der Hauptpunkte viel einfacher gestaltet, als wenn man von den Einzelschwerpunkten ausgeht, so erfährt auch die Rechnung durch die Anwendung der Hauptpunkte und Hauptstrecken eine wesentliche Vereinfachung. Zunächst hat man natürlich die Coordinaten der 12 Hauptpunkte zu ermitteln. Diese Berechnung gestaltet sich genau entsprechend der Bestimmung der Coordinaten der Einzelschwerpunkte (vgl. Seite 18); nur hat man dabei die oben angegebenen, für die Lage der Hauptpunkte geltenden, Verhältnisszahlen an Stelle der den Einzelschwerpunkten zukommenden zu verwenden. Hat man diese Bestimmung gemacht, so sind im weiteren Verlaufe der Rechnung nur noch Subtractionen und Additionen auszuführen. Durch Subtraction gewinnt man die Projectionen der in Frage kommenden Hauptstrecken auf die drei Coordinatenaxen und durch Addition dieser Differenzen mit den Coordinaten des Hauptpunktes, von dem man ausgeht, die Coordinaten des Gesamtschwerpunktes. Beginnt man mit dem Hauptpunkt des Rumpfes, so gewinnt man die Projectionen der in Frage kommenden 11 Hauptstrecken auf die drei Coordinatenaxen, indem man von den Coordinaten eines jeden der 11 übrigen Hauptpunkte die entsprechenden Coordinaten des zu demselben Körpertheil gehörenden proximalen Gelenkmittelpunktes abzieht. Bezeichnet man allgemein die so entstehenden Differenzen der x , y und z -Coordinaten mit h'_i , h''_i und h'''_i , wobei i die Nummer des betreffenden Körpertheils angiebt, und bedeuten ξ_1 , η_1 , ζ_1 die drei Coordinaten des Rumpfhauptpunktes, so hat

man zur Berechnung der Coordinaten x_0, y_0, z_0 des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers die Formeln:

$$x_0 = \xi_1 + h'_2 + h'_3 + h'_4 \cdots \cdots + h'_{12} = \xi_1 + \sum_2^{12} h'_i,$$

$$y_0 = \eta_1 + h''_2 + h''_3 + h''_4 \cdots \cdots + h''_{12} = \eta_1 + \sum_2^{12} h''_i,$$

$$z_0 = \zeta_1 + h'''_2 + h'''_3 + h'''_4 \cdots \cdots + h'''_{12} = \zeta_1 + \sum_2^{12} h'''_i.$$

Dies folgt einfach daraus, dass die Projection eines gebrochenen Linienzuges auf eine Gerade gleich der algebraischen Summe der Projectionen der einzelnen Strecken dieses Linienzuges auf dieselbe Gerade ist.

Endlich kann man wiederum einen Gelenkmechanismus zusammensetzen, welcher die Construction des Gesamtschwerpunktes mittelst der Hauptstrecken an einem Gelenkmodell des menschlichen Körpers selbstthätig ausführt. Man braucht zu diesem Zwecke nur einzelne Stäbe, Metallstreifen oder Cartonstreifen, von der Länge der in Frage kommenden Hauptstrecken gelenkig mit einander, und die so entstehende Kette von Stäben an dem einen Ende durch ein Gelenk mit dem Hauptpunkte des Rumpfes zu verbinden, und durch eine besondere Vorrichtung dafür zu sorgen, dass die Längsachsen der einzelnen Stäbe bei jeder Haltung des Körpers immer den ihnen entsprechenden innerhalb der Körpertheile gelegenen Hauptstrecken parallel bleiben. Dieser letztere Zweck lässt sich auf mechanischem Wege nur mit Hülfe einer grossen Anzahl von Gelenken erreichen. Schon bei einem System von fünf durch Gelenke mit einander verbundenen Körpern häufen sich die Hülfgelenke des Mechanismus derartig¹⁾, dass selbst bei sehr geringer Reibung in den Gelenken der Mechanismus unverhältnissmässig viel schwerer spielt, als der auf die Einzelschwerpunkte gegründete. Es würde daher bei der Zerlegung des menschlichen Körpers in 12 Abschnitte ein automatisch wirkender Schwerpunktsmechanismus, welcher die Construction

1) Vgl. OTTO FISCHER. Ein zweiter Mechanismus zur Bestimmung der Lage des Schwerpunktes eines Systems von in beliebiger Weise durch Gelenke mit einander verbundenen Körpern. Nr. 264a des Nachtrags-Katalogs mathematischer und mathematisch-physikalischer Modelle, Apparate und Instrumente. Herausgegeben von der deutschen Mathematiker-Vereinigung. 1892.

mittelst der Hauptstrecken verwirklicht, zu complicirt werden. Dagegen erhält man einen sehr einfachen, theoretisch interessanten und auch praktisch werthvollen Apparat zur Gewinnung des Gesamtschwerpunktes, wenn man sich auf die aus den Hauptstrecken zusammengesetzte bewegliche Kette von 11 Gliedern beschränkt. Der Gesamtschwerpunkt stellt sich nur dann nicht selbstthätig ein, wenn man das Modell des Körpers in irgend eine Haltung bringt, sondern man ist in jedem Falle genöthigt, die einzelnen Glieder der Kette der Reihe nach den ihnen zugehörigen Hauptstrecken parallel zu richten. Stellt das Modell des menschlichen Körpers, an welchem die Kette angebracht ist, nur die Projection desselben auf die Gangebene dar, so brauchen die einzelnen Glieder der Kette nur durch Charnirgelenke verbunden zu sein. Bei einem räumlichen Modell des menschlichen Körpers müssen dagegen die Gelenkverbindungen der einzelnen Stäbe der Kette durch Kugelgelenke bewirkt sein.

II. Die Bahn des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers.

Ein Vergleich der verschiedenen, im I. Abschnitt ausführlich dargelegten Wege zur Bestimmung der Schwerpunktsbahn lehrt, dass die Methoden der Construction und der Gewinnung des Gesamtschwerpunktes mit Hülfe eines Gelenkmechanismus gegenüber der Methode der Rechnung den Vorzug der Anschaulichkeit besitzen. Dagegen wird man auf dem Wege der Rechnung im Allgemeinen eine grössere Genauigkeit der Resultate erzielen können als auf den beiden anderen Wegen; denn vor Rechenfehlern kann man sich durch stete Controle aller einzelnen Schritte schützen, kleine Ungenauigkeiten bei der Construction oder bei der Zusammensetzung eines Bewegungsmechanismus sind dagegen unvermeidlich. Da eine Ableitung der Geschwindigkeiten und Beschleunigungen des Gesamtschwerpunktes nur dann möglich ist, wenn die Bahn desselben genügend genau bekannt ist, so ist man im vorliegenden Falle im Interesse der weiteren Untersuchung gezwungen, den mühsamen und zeitraubenden Weg der Rechnung zu beschreiten. Es bleiben dabei noch zwei Möglichkeiten. Entweder man leitet aus den im ersten Theile dieser Untersuchung festgestellten Coordinaten der Gelenkmittelpunkte zunächst die Coordinaten der Einzelschwerpunkte ab, und rechnet dann aus diesen nach einer der beiden im vorigen Abschnitt beschriebenen Methoden die Coordinaten des Gesamtschwerpunktes aus. Oder man verschafft sich mit Umgehung der Einzelschwerpunkte zuerst die Coordinaten der Hauptpunkte für alle 12 Körpertheile, und leitet darauf aus diesen nach den oben angegebenen Formeln die Coordinaten des Gesamtschwerpunktes ab.

Wenn nun auch der letztere Weg nach den früheren Auseinandersetzungen am schnellsten zum Ziele führt, so soll er

doch für die vorliegende Untersuchung nicht eingeschlagen werden, und zwar aus rein ökonomischen Gründen. Die Untersuchung der Bewegung der einzelnen Abschnitte des menschlichen Körpers beim Gehen, welche zwar in dem vorliegenden Theile der Arbeit noch nicht in Betracht gezogen werden soll, sondern den Gegenstand späterer Veröffentlichungen bilden wird, erfordert die Kenntniss der Bahnen der Einzelschwerpunkte und Systemschwerpunkte. Würde man jetzt für die Berechnung der Coordinaten des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers die Coordinaten der Hauptpunkte verwenden, so hätte man später die Coordinaten der Einzelschwerpunkte und Systemschwerpunkte aus den Coordinaten der Gelenkmittelpunkte oder auch der Hauptpunkte besonders zu berechnen. Leitet man dagegen jetzt gleich die Coordinaten der Einzelschwerpunkte ab, verschafft sich ferner im Anschluss an die geometrische Construction zunächst aus diesen die Coordinaten der wichtigeren Systemschwerpunkte, und schreitet auf diesem Wege endlich rechnerisch bis zu den Coordinaten des Gesamtschwerpunktes vor, so erreicht man zwar das zunächst gesteckte Ziel auf Umwegen, hat aber im Ganzen weniger Arbeit aufzuwenden, als wenn man jetzt die Coordinaten des Gesamtschwerpunktes auf dem kürzesten Wege und dann später noch besonders die Coordinaten der Einzelschwerpunkte und Systemschwerpunkte berechnete. Die Berechnung ist nun genau nach den im vorigen Abschnitt auf den Seiten 18 bis 20 gemachten Angaben unter Zugrundelegung der in den Tabellen 10, 11 und 12 des I. Theiles niedergelegten Coordinaten der Gelenkmittelpunkte von mir selbst ausgeführt, und jeder einzelne Schritt sorgfältig controlirt worden, so dass Fehler so gut wie ausgeschlossen sind. Da mir diesmal keine Hülfskraft mehr zur Verfügung stand, meine zweifache Berufsthätigkeit mir aber verhältnissmässig wenig Zeit zur Erledigung derartiger umfangreicher Arbeiten übrig lässt, so beanspruchte die Ausführung der Berechnung der sämtlichen Schwerpunktscoordinaten für alle drei Versuche einen Zeitraum von mehreren Jahren. Dies ist der Grund, weshalb der vorliegende zweite Theil der Untersuchung des menschlichen Ganges so spät nach dem ersten erscheint.

In den folgenden Tabellen 1 und 2 finden sich die Resultate dieser Coordinatenbestimmung zunächst für den I. und II. Versuch niedergelegt.

Nr.	Schwerpunkt des Oberarms						Schwerpunkt von: Unterarm + Hand						Nr.
	rechts			links			rechts			links			
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	
1	39,92	+19,05	117,75	36,34	-23,11	117,93	55,09	+25,31	88,79	43,13	-32,47	87,24	1
2	44,79	+18,61	119,07	43,15	-23,16	119,64	55,54	+25,89	88,10	53,58	-30,97	89,88	2
3	49,08	+18,38	120,38	49,83	-23,21	121,31	55,36	+26,81	88,42	63,67	-29,47	93,18	3
4	53,19	+18,43	121,26	56,21	-23,41	122,32	55,24	+27,83	89,15	72,88	-28,11	96,35	4
5	57,54	+18,62	121,79	62,69	-23,52	122,56	56,11	+28,69	89,88	81,51	-26,82	99,09	5
6	62,21	+18,77	121,77	69,14	-23,55	122,13	58,15	+29,20	90,26	89,37	-25,78	101,06	6
7	67,37	+18,97	121,09	75,59	-23,36	121,19	61,24	+30,03	90,12	96,63	-25,00	101,98	7
8	73,38	+19,21	119,74	82,39	-23,04	119,79	65,71	+30,87	89,44	103,86	-24,40	101,74	8
9	79,56	+19,38	118,34	88,75	-22,54	118,50	71,30	+31,46	88,37	110,21	-23,95	100,35	9
10	85,88	+19,80	117,33	94,76	-21,86	117,71	78,14	+31,87	87,25	115,75	-23,81	98,27	10
11	93,16	+20,35	116,71	100,97	-21,02	117,29	87,13	+31,97	86,71	121,00	-23,89	95,40	11
12	100,79	+20,90	116,58	106,86	-20,28	117,43	97,40	+31,95	85,12	125,01	-24,30	92,45	12
13	108,65	+21,33	116,92	112,82	-19,68	117,93	109,00	+31,86	85,19	127,94	-25,38	89,96	13
14	115,73	+21,58	117,96	117,85	-19,30	118,68	120,77	+31,32	86,41	129,71	-26,08	88,81	14
15	123,04	+21,81	119,78	122,55	-19,14	119,96	133,10	+30,54	89,50	130,72	-27,35	89,09	15
16	129,15	+22,10	121,38	126,25	-19,24	121,00	142,99	+29,83	92,99	131,41	-28,53	89,78	16
17	136,26	+22,53	122,48	130,72	-19,54	121,73	153,96	+29,02	97,09	132,69	-29,79	90,41	17
18	142,70	+22,90	122,72	135,08	-19,70	121,83	163,22	+28,08	100,34	134,77	-30,44	90,61	18
19	149,67	+23,02	122,38	140,13	-19,83	121,36	172,63	+27,32	102,89	137,92	-31,41	90,45	19
20	156,45	+22,96	121,55	145,59	-20,01	120,41	180,16	+26,59	104,08	142,07	-32,12	89,87	20
21	163,01	+22,59	120,45	151,50	-20,24	119,16	187,30	+26,10	103,97	147,23	-32,86	88,89	21
22	169,23	+21,94	119,24	157,89	-20,57	118,02	193,57	+25,83	102,70	153,60	-33,31	87,84	22
23	174,99	+21,40	118,28	164,53	-21,01	117,21	198,73	+25,69	100,28	161,10	-33,50	86,79	23
24	180,53	+20,74	117,85	171,77	-21,61	116,78	202,96	+25,32	97,08	169,99	-33,50	86,06	24
25	185,80	+20,16	117,81	179,13	-22,06	116,86	205,85	+25,61	93,64	179,57	-33,57	85,78	25
26	191,56	+19,53	118,07	187,08	-22,46	117,38	207,92	+26,05	90,73	190,81	-32,84	86,32	26
27	196,57	+19,10	118,59	194,01	-22,88	118,42	208,90	+26,54	88,55	201,42	-31,97	87,78	27
28	201,21	+18,61	119,61	201,04	-22,99	120,14	209,13	+27,04	88,17	211,99	-30,94	90,57	28
29	204,89	+18,39	120,54	207,32	-23,12	121,67	208,93	+27,56	88,54	221,25	-29,86	93,64	29
30	208,67	+18,37	121,28	213,74	-23,31	122,60	208,99	+27,92	89,24	230,32	-28,77	96,58	30
31	212,64	+18,81	121,56	219,83	-23,48	122,75	210,03	+28,78	89,92	238,32	-27,63	99,02	31

Nr.	Schwerpunkt des ganzen Armes						Schwerpunkt des Rumpfes			Schwerpunkt des Kopfes			Nr.
	rechts			links			x	y	z	x	y	z	
	x	y	z	x	y	z							
1	47,22	+22,06	103,82	39,61	-27,61	103,17	38,01	-1,72	108,55	38,19	-1,41	153,48	1
2	49,96	+22,11	104,17	48,17	-26,92	105,33	43,90	-1,75	109,92	44,48	-1,59	154,87	2
3	52,10	+22,43	105,01	56,49	-26,22	107,78	49,72	-1,76	111,22	50,63	-1,66	156,14	3
4	54,18	+22,95	105,82	64,23	-25,67	109,83	55,42	-1,75	112,00	56,52	-1,62	156,78	4
5	56,85	+23,46	106,44	71,74	-25,11	111,27	61,15	-1,71	112,09	62,47	-1,52	156,78	5
6	60,26	+23,79	106,61	78,87	-24,62	112,00	66,82	-1,66	111,52	68,36	-1,32	156,18	6
7	64,42	+24,29	106,19	85,71	-24,15	111,95	72,53	-1,54	110,37	74,34	-1,11	155,05	7
8	69,69	+24,82	105,17	92,72	-23,69	111,11	78,78	-1,37	108,84	80,74	-0,83	153,67	8
9	75,59	+25,19	104,92	99,07	-23,22	109,77	85,08	-1,13	107,73	86,89	-0,49	152,53	9
10	82,16	+25,61	102,86	104,86	-22,80	108,36	91,40	-0,69	107,14	92,85	-0,05	151,86	10
11	90,26	+25,94	102,28	110,60	-22,40	106,76	98,50	0	106,97	99,16	+0,47	151,70	11
12	99,16	+26,22	101,45	115,59	-22,21	105,41	105,28	+0,59	107,33	105,14	+0,95	152,14	12
13	108,82	+26,39	101,66	120,09	-22,42	104,48	111,74	+1,16	107,84	111,15	+1,39	152,98	13
14	118,15	+26,26	102,78	123,55	-22,56	104,31	117,61	+1,48	108,88	116,75	+1,59	154,20	14
15	127,88	+26,01	105,22	126,48	-23,09	105,11	123,49	+1,68	110,47	122,76	+1,66	155,71	15
16	135,81	+25,82	107,72	128,73	-23,71	105,98	128,76	+1,74	111,53	127,82	+1,64	156,74	16
17	144,79	+25,65	110,75	131,67	-24,47	106,67	134,41	+1,71	112,13	133,83	+1,57	157,24	17
18	152,57	+25,39	111,96	134,93	-24,87	106,81	139,72	+1,61	112,01	139,39	+1,50	156,95	18
19	160,71	+25,09	113,01	139,07	-25,40	106,49	145,42	+1,54	111,25	145,44	+1,43	156,11	19
20	167,85	+24,71	113,15	143,90	-25,83	105,72	151,16	+1,37	110,09	151,54	+1,34	154,92	20
21	174,69	+24,28	112,52	149,45	-26,31	104,60	157,08	+1,18	108,87	157,69	+1,15	153,71	21
22	180,94	+23,81	111,77	155,83	-26,70	103,50	163,29	+0,79	108,00	163,91	+0,79	152,72	22
23	186,41	+23,46	109,62	162,88	-27,02	102,58	169,67	+0,28	107,50	170,11	+0,31	152,08	23
24	191,32	+22,94	107,86	170,91	-27,33	102,00	176,53	-0,39	107,47	176,42	-0,30	151,96	24
25	195,44	+22,78	106,18	179,34	-27,60	101,91	183,00	-1,06	107,76	182,41	-0,85	152,33	25
26	199,43	+22,67	104,92	188,87	-27,45	102,44	189,67	-1,41	108,32	188,88	-1,31	153,08	26
27	202,50	+22,68	104,14	197,57	-27,25	103,68	195,71	-1,66	109,17	194,91	-1,54	154,10	27
28	205,02	+22,66	104,49	206,31	-26,81	105,92	201,80	-1,75	110,35	201,28	-1,59	155,37	28
29	206,83	+22,80	105,15	214,02	-26,36	108,19	207,18	-1,73	111,32	207,00	-1,53	156,33	29
30	208,82	+22,96	105,87	221,71	-25,94	110,08	212,59	-1,64	112,02	212,70	-1,28	156,92	30
31	211,38	+23,61	106,34	228,71	-25,48	111,34	217,87	-1,63	111,98	218,32	-1,00	156,59	31

Nr.	Schwerpunkt von: Rumpf + Kopf			Schwerpunkt beider Arme			Schwerpunkt von: Rumpf + Kopf + beide Arme			Nr.
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	
1	38,04	-1,68	114,93	44,42	-2,78	103,50	39,36	-1,91	112,56	1
2	43,98	-1,73	116,30	49,07	-2,41	104,75	45,03	-1,87	113,91	2
3	49,85	-1,75	117,60	54,30	-1,95	106,40	50,77	-1,79	115,28	3
4	55,58	-1,73	118,36	59,21	-1,36	107,83	56,33	-1,65	116,18	4
5	61,34	-1,68	118,44	64,30	-0,83	108,86	61,95	-1,50	116,46	5
6	67,04	-1,61	117,86	69,57	-0,42	109,31	67,56	-1,36	116,09	6
7	72,79	-1,48	116,71	75,07	+0,07	109,07	73,26	-1,16	115,13	7
8	79,06	-1,29	115,21	81,21	+0,57	108,14	79,51	-0,90	113,75	8
9	85,34	-1,04	114,09	87,33	+0,99	107,35	85,75	-0,62	112,69	9
10	91,61	-0,60	113,49	93,51	+1,41	105,61	92,00	-0,18	111,86	10
11	98,59	+0,07	113,32	100,43	+1,77	104,52	98,97	+0,42	111,50	11
12	105,26	+0,64	113,69	107,38	+2,01	103,43	105,70	+0,92	111,57	12
13	111,66	+1,19	114,25	114,46	+1,99	103,07	112,24	+1,36	111,94	13
14	117,49	+1,50	115,32	120,85	+1,85	103,55	118,19	+1,57	112,88	14
15	123,39	+1,68	116,89	127,18	+1,46	105,17	124,17	+1,63	114,46	15
16	128,63	+1,73	117,95	132,27	+1,06	106,85	129,38	+1,59	115,65	16
17	134,33	+1,69	118,54	138,23	+0,59	108,71	135,14	+1,46	116,51	17
18	139,67	+1,59	118,39	143,75	+0,26	109,39	140,51	+1,31	116,53	18
19	145,42	+1,52	117,62	149,89	-0,16	109,75	146,35	+1,17	115,99	19
20	151,21	+1,37	116,46	155,88	-0,56	109,44	152,18	+0,97	115,01	20
21	157,17	+1,18	115,24	162,07	-1,02	108,56	158,18	+0,72	113,86	21
22	163,38	+0,79	114,35	168,39	-1,45	107,64	164,42	+0,33	112,96	22
23	169,73	+0,28	113,83	174,65	-1,78	106,10	170,75	-0,15	112,23	23
24	176,51	-0,38	113,79	181,12	-2,20	104,93	177,46	-0,76	111,96	24
25	182,92	-1,03	114,09	187,39	-2,41	104,05	183,85	-1,32	112,01	25
26	189,56	-1,40	114,68	194,15	-2,39	103,68	190,51	-1,60	112,40	26
27	195,60	-1,64	115,55	200,04	-2,29	103,91	196,52	-1,77	113,14	27
28	201,73	-1,73	116,74	205,67	-2,08	105,21	202,55	-1,80	114,35	28
29	207,15	-1,70	117,71	210,43	-1,78	106,67	207,83	-1,72	115,42	29
30	212,61	-1,59	118,40	215,27	-1,49	107,98	213,16	-1,57	116,24	30
31	217,93	-1,54	118,31	220,05	-0,94	108,84	218,37	-1,42	116,35	31

Nr.	Schwerpunkt des Oberschenkels						Schwerpunkt des Unterschenkels						Nr.
	rechts			links			rechts			links			
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	
1	38,90	+8,39	65,71	44,73	-10,45	69,60	25,64	+9,50	34,77	51,58	-8,37	33,20	1
2	47,59	+8,20	67,22	48,51	-10,40	70,26	37,99	+9,06	35,52	52,47	-8,36	33,43	2
3	55,81	+8,08	68,85	52,06	-10,15	70,83	50,49	+8,65	35,92	53,18	-8,08	33,63	3
4	63,37	+7,87	70,14	55,53	-9,89	71,29	62,64	+8,17	35,86	53,88	-7,78	33,80	4
5	70,31	+7,57	70,64	59,23	-9,62	71,29	74,51	+7,62	35,48	54,86	-7,40	33,89	5
6	76,62	+7,34	70,19	63,19	-9,48	70,92	85,72	+7,27	34,88	56,17	-7,15	33,88	6
7	82,17	+6,99	68,68	67,51	-9,35	70,13	95,56	+6,91	34,12	57,90	-6,93	33,74	7
8	88,11	+6,55	66,76	72,54	-9,30	69,22	104,68	+6,56	33,52	60,26	-6,90	33,71	8
9	94,84	+6,59	65,89	78,10	-9,39	68,67	112,23	+6,42	33,00	63,35	-7,28	33,97	9
10	102,15	+7,13	65,99	84,28	-9,50	68,31	118,59	+6,53	32,43	67,44	-7,91	34,43	10
11	109,35	+7,79	65,92	91,83	-9,54	68,16	124,13	+6,94	31,89	73,39	-8,77	35,24	11
12	116,21	+8,92	66,81	100,21	-9,77	67,92	128,73	+7,97	32,28	81,65	-9,72	36,00	12
13	121,87	+9,56	67,26	109,06	-9,47	67,63	131,90	+8,13	32,38	92,11	-10,01	36,87	13
14	125,95	+10,02	67,80	117,71	-9,08	68,36	132,91	+8,29	32,27	103,51	-9,92	37,64	14
15	129,36	+9,98	68,46	126,09	-8,67	70,01	133,38	+7,92	32,23	115,95	-9,46	38,14	15
16	132,45	+9,70	68,79	133,46	-8,45	71,34	133,75	+7,42	32,20	126,78	-9,05	38,16	16
17	135,65	+9,39	68,91	140,97	-8,24	72,33	134,31	+7,01	32,12	139,50	-8,16	37,75	17
18	138,95	+9,08	68,77	147,60	-8,08	72,53	134,97	+6,70	32,04	150,88	-8,17	37,06	18
19	142,80	+8,93	68,26	153,88	-7,89	71,88	136,07	+6,55	31,91	162,16	-7,87	36,11	19
20	147,03	+8,66	67,46	159,46	-7,65	70,50	137,73	+6,27	31,70	172,17	-7,68	35,23	20
21	151,45	+8,55	66,84	164,92	-7,34	68,85	139,69	+6,22	31,81	180,49	-7,50	34,60	21
22	156,70	+8,43	66,57	171,49	-7,55	68,12	142,62	+6,42	32,24	187,65	-7,53	34,06	22
23	162,88	+8,31	66,32	179,01	-8,32	68,40	146,76	+6,77	32,72	194,06	-7,95	33,54	23
24	170,10	+8,17	66,18	185,40	-9,09	68,27	152,47	+7,21	33,38	198,69	-8,53	33,06	24
25	178,20	+8,17	65,87	191,61	-9,99	68,83	160,51	+7,86	33,98	202,88	-9,07	33,25	25
26	187,49	+8,08	65,58	197,72	-10,56	69,53	171,67	+8,12	34,45	206,58	-9,46	33,62	26
27	196,56	+7,71	66,12	202,28	-10,71	70,10	183,45	+7,78	34,86	208,03	-9,45	33,72	27
28	205,22	+7,51	67,38	206,39	-10,75	70,66	195,68	+7,39	35,43	209,14	-9,41	33,86	28
29	212,89	+7,40	68,81	210,14	-10,50	71,04	207,04	+7,05	35,71	210,10	-9,07	33,95	29
30	220,20	+7,47	70,00	213,57	-10,35	71,33	218,97	+6,95	35,59	210,98	-8,91	34,07	30
31	226,45	+7,42	70,35	217,13	-10,35	71,20	229,83	+7,01	35,14	212,03	-8,85	34,05	31



Nr.	Schwerpunkt des Fusses						Schwerpunkt von: Unterschenkel + Fuss						Nr.
	rechts			links			rechts			links			
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	
1	4,86	+ 7,39	16,85	56,87	- 6,23	6,07	20,38	+ 8,97	30,24	52,92	- 7,83	26,34	1
2	19,27	+ 7,18	15,87	56,94	- 6,23	6,10	33,25	+ 8,58	30,55	53,60	- 7,82	26,52	2
3	35,58	+ 6,99	13,67	56,93	- 6,20	6,11	46,72	+ 8,23	30,29	54,13	- 7,60	26,67	3
4	52,80	+ 6,78	11,17	56,98	- 6,19	6,14	60,15	+ 7,82	29,61	54,66	- 7,38	26,80	4
5	70,97	+ 6,48	9,38	56,99	- 6,16	6,16	73,61	+ 7,31	28,88	55,40	- 7,09	26,87	5
6	88,88	+ 6,32	8,82	56,99	- 6,13	6,18	86,52	+ 7,03	28,29	56,38	- 6,89	26,87	6
7	105,53	+ 6,70	10,03	57,00	- 6,10	6,20	98,08	+ 6,86	28,03	57,67	- 6,72	26,77	7
8	119,84	+ 7,66	12,64	57,05	- 6,09	6,34	108,52	+ 6,84	28,24	59,45	- 6,70	26,79	8
9	127,92	+ 7,73	12,71	57,54	- 6,35	6,81	116,20	+ 6,75	27,87	61,88	- 7,04	27,10	9
10	131,33	+ 6,82	10,00	58,50	- 6,78	7,60	121,81	+ 6,60	26,76	65,18	- 7,62	27,64	10
11	134,81	+ 6,30	7,76	60,42	- 7,13	9,19	126,83	+ 6,78	25,79	70,11	- 8,36	28,65	11
12	135,68	+ 6,04	6,77	63,94	- 7,15	12,50	130,49	+ 7,48	25,83	77,17	- 9,07	30,05	12
13	135,91	+ 6,12	6,68	72,08	- 7,68	16,41	132,91	+ 7,62	25,88	87,04	- 9,42	31,69	13
14	135,92	+ 6,09	6,71	83,42	- 7,63	17,61	133,67	+ 7,73	25,80	98,43	- 9,34	32,57	14
15	135,93	+ 6,04	6,74	98,76	- 7,15	16,33	134,03	+ 7,44	25,78	111,60	- 8,88	32,62	15
16	135,93	+ 6,01	6,77	113,08	- 6,68	14,03	134,30	+ 7,06	25,77	123,31	- 8,45	32,06	16
17	135,94	+ 5,96	6,80	131,24	- 6,55	11,35	134,72	+ 6,74	25,71	137,41	- 7,75	31,07	17
18	135,95	+ 5,90	6,83	148,50	- 6,72	9,36	135,22	+ 6,50	25,66	150,28	- 7,80	30,05	18
19	135,97	+ 5,86	6,87	166,68	- 6,91	8,54	136,04	+ 6,38	25,87	163,30	- 7,63	29,13	19
20	136,00	+ 5,80	6,94	183,98	- 7,49	9,79	137,29	+ 6,15	25,44	175,16	- 7,63	28,79	20
21	136,28	+ 5,82	7,17	197,72	- 8,69	12,43	138,83	+ 6,12	25,58	184,85	- 7,80	28,99	21
22	136,83	+ 5,97	7,74	205,44	- 8,97	12,30	141,16	+ 6,31	26,04	192,15	- 7,89	28,55	22
23	137,76	+ 6,15	8,66	208,35	- 8,36	9,43	144,48	+ 6,61	26,63	197,68	- 8,05	27,44	23
24	139,59	+ 5,98	10,54	211,40	- 8,14	7,34	149,21	+ 6,90	27,60	201,91	- 8,43	26,55	24
25	143,27	+ 5,87	13,23	212,62	- 7,60	6,39	156,15	+ 7,36	28,73	205,34	- 8,70	26,45	25
26	151,42	+ 5,71	16,45	212,64	- 7,76	6,24	166,55	+ 7,51	29,90	208,11	- 9,03	26,69	26
27	162,92	+ 5,15	16,80	212,66	- 7,77	6,30	178,26	+ 7,11	30,29	209,20	- 9,02	26,78	27
28	177,34	+ 4,66	15,53	212,68	- 7,79	6,37	191,04	+ 6,70	30,40	210,04	- 9,00	26,91	28
29	192,31	+ 4,53	13,35	212,70	- 7,80	6,43	203,31	+ 6,41	30,05	210,76	- 8,75	26,99	29
30	209,06	+ 4,66	10,88	212,72	- 7,81	6,50	216,46	+ 6,37	29,34	211,42	- 8,63	27,09	30
31	226,00	+ 5,14	9,00	212,75	- 7,83	6,58	228,86	+ 6,54	28,53	212,21	- 8,59	27,10	31

Nr.	Schwerpunkt des ganzen Beins						Schwerpunkt beider Beine			Gesamtschwerpunkt des ganzen Körpers			Nr.
	rechts			links			x	y	z	x	y	z	
	x	y	z	x	y	z							
1	31,88	+ 8,61	52,27	47,83	- 9,46	53,20	39,86	- 0,43	52,74	39,55	- 1,36	90,25	1
2	42,16	+ 8,34	53,32	50,44	- 9,42	53,72	46,30	- 0,54	53,52	45,50	- 1,37	91,38	2
3	52,36	+ 8,14	54,24	52,84	- 9,18	54,09	52,60	- 0,52	54,17	51,45	- 1,32	92,49	3
4	62,15	+ 7,85	54,78	55,20	- 8,94	54,43	58,68	- 0,55	54,61	57,21	- 1,24	93,21	4
5	71,56	+ 7,47	54,81	57,78	- 8,66	54,45	64,67	- 0,60	54,63	62,96	- 1,16	93,40	5
6	80,37	+ 7,22	54,31	60,61	- 8,50	54,23	70,49	- 0,64	54,27	68,65	- 1,09	93,03	6
7	88,20	+ 6,94	53,27	63,78	- 8,35	53,70	75,99	- 0,71	53,49	74,28	- 0,99	92,14	7
8	95,85	+ 6,66	52,16	67,58	- 8,31	53,14	81,72	- 0,83	52,65	80,33	- 0,87	90,96	8
9	102,94	+ 6,65	51,48	71,95	- 8,50	52,91	87,45	- 0,93	52,20	86,38	- 0,74	90,13	9
10	109,60	+ 6,93	51,12	77,04	- 8,79	52,90	93,32	- 0,93	52,01	92,49	- 0,46	89,54	10
11	115,22	+ 7,41	50,71	83,60	- 9,09	53,19	99,41	- 0,84	51,95	99,13	- 0,05	89,29	11
12	121,62	+ 8,37	51,28	91,48	- 9,50	53,57	106,55	- 0,57	52,43	106,02	+ 0,36	89,51	12
13	126,05	+ 8,82	51,58	101,09	- 9,45	54,01	113,57	- 0,32	52,80	112,74	+ 0,73	89,88	13
14	128,88	+ 9,15	51,88	110,40	- 9,18	54,80	119,64	- 0,02	53,34	118,73	+ 0,98	90,67	14
15	131,13	+ 9,02	52,28	120,60	- 8,75	55,84	125,87	+ 0,14	54,06	124,80	+ 1,07	91,93	15
16	133,15	+ 8,70	52,49	129,61	- 8,45	56,45	131,38	+ 0,13	54,47	130,13	+ 1,05	92,83	16
17	135,30	+ 8,39	52,55	139,62	- 8,05	56,69	137,46	+ 0,17	54,62	136,01	+ 0,98	93,43	17
18	137,54	+ 8,10	52,43	148,52	- 7,97	56,43	143,03	+ 0,07	54,43	141,45	+ 0,85	93,37	18
19	140,24	+ 7,96	52,19	157,45	- 7,80	55,68	148,85	+ 0,08	53,94	147,28	+ 0,76	92,85	19
20	143,34	+ 7,71	51,53	165,41	- 7,64	54,69	154,38	+ 0,04	53,11	153,00	+ 0,62	91,92	20
21	146,67	+ 7,63	51,20	172,47	- 7,51	53,74	159,57	+ 0,06	52,47	159,07	+ 0,47	90,96	21
22	150,81	+ 7,63	51,21	179,32	- 7,68	53,12	165,07	- 0,03	52,17	164,66	+ 0,20	90,29	22
23	155,91	+ 7,67	51,28	186,09	- 8,22	52,88	171,00	- 0,28	52,08	170,84	- 0,20	89,79	23
24	162,18	+ 7,69	51,56	191,66	- 8,84	52,46	176,92	- 0,58	52,01	177,26	- 0,69	89,60	24
25	169,84	+ 7,86	51,79	196,81	- 9,50	52,77	183,33	- 0,82	52,28	183,66	- 1,13	89,73	25
26	179,55	+ 7,86	52,06	201,66	- 9,98	53,29	190,61	- 1,06	52,68	190,55	- 1,40	90,12	26
27	189,62	+ 7,48	52,54	204,90	- 10,07	53,68	197,26	- 1,30	53,11	196,80	- 1,59	90,75	27
28	199,85	+ 7,20	53,36	208,77	- 10,09	54,08	204,31	- 1,45	53,72	203,21	- 1,67	91,74	28
29	209,26	+ 7,02	54,12	210,37	- 9,84	54,35	209,82	- 1,41	54,24	208,57	- 1,60	92,60	29
30	218,78	+ 7,05	54,59	212,76	- 9,70	54,56	215,77	- 1,33	54,58	214,13	- 1,48	93,24	30
31	227,36	+ 7,09	54,50	215,27	- 9,68	54,49	221,32	- 1,30	54,50	219,47	- 1,38	93,28	31

Nr.	Schwerpunkt des Oberarms						Schwerpunkt des Unterarms						Nr.
	rechts			links			rechts			links			
	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	
1	46,26	+20,37	118,14	42,69	-22,77	116,50	65,78	+26,64	93,82	44,53	-33,65	85,23	1
2	51,34	+20,18	118,52	49,59	-22,69	117,05	68,24	+26,63	91,41	54,45	-32,25	85,70	2
3	56,16	+19,46	119,45	56,48	-22,48	118,43	69,64	+26,37	89,87	64,81	-30,33	87,50	3
4	60,88	+19,05	120,55	63,31	-22,38	120,28	70,33	+26,53	89,33	75,51	-28,34	90,54	4
5	64,95	+18,87	121,32	69,69	-22,43	121,80	70,79	+26,99	89,39	85,18	-26,74	94,18	5
6	69,27	+18,71	121,68	76,35	-22,64	122,73	71,63	+27,47	89,48	94,57	-25,03	97,29	6
7	74,04	+18,79	121,61	83,21	-22,80	122,83	73,32	+27,76	89,43	103,60	-23,64	100,32	7
8	78,62	+18,81	121,14	89,23	-22,78	122,32	75,75	+28,31	89,11	111,01	-22,63	102,22	8
9	84,54	+18,94	120,14	96,28	-22,56	121,26	79,64	+28,80	88,47	119,04	-21,94	103,38	9
10	90,50	+19,09	118,90	102,67	-22,17	120,00	84,42	+29,41	87,60	125,88	-21,51	103,12	10
11	97,26	+19,41	117,75	109,08	-21,60	118,87	90,47	+30,07	86,68	132,34	-21,48	101,83	11
12	104,08	+19,85	117,21	114,92	-20,90	118,24	98,19	+30,54	86,10	137,70	-21,62	99,69	12
13	111,69	+20,45	117,03	120,57	-20,30	117,98	107,36	+30,99	85,64	142,31	-22,49	96,90	13
14	118,99	+20,94	117,35	125,80	-19,84	118,40	117,26	+31,08	85,66	145,62	-23,01	94,21	14
15	126,47	+21,34	118,22	131,20	-19,60	119,18	128,65	+31,28	86,38	148,11	-24,22	91,80	15
16	133,43	+21,57	119,76	136,05	-19,43	120,23	139,91	+30,90	88,47	149,53	-25,73	90,79	16
17	140,16	+21,90	121,30	140,47	-19,55	121,08	150,76	+30,33	91,29	150,34	-27,23	90,51	17
18	146,86	+22,39	122,27	144,86	-19,79	121,56	161,41	+29,63	94,23	151,27	-28,80	90,50	18
19	153,87	+22,66	122,56	149,49	-20,17	121,54	171,87	+28,75	97,05	152,65	-30,57	90,28	19
20	160,93	+22,54	122,24	154,43	-20,49	121,22	181,59	+27,69	99,33	155,04	-31,72	90,15	20
21	167,48	+22,44	121,62	159,41	-20,57	120,58	189,74	+26,88	100,65	158,32	-32,87	89,74	21
22	173,94	+22,13	120,77	164,84	-20,88	119,59	197,11	+26,17	100,91	162,61	-33,63	89,08	22
23	180,92	+21,56	119,73	171,58	-21,13	118,44	204,28	+25,82	99,94	168,84	-34,23	88,18	23
24	187,00	+21,03	118,78	178,21	-21,45	117,70	209,75	+25,36	98,08	176,02	-34,32	87,32	24
25	192,78	+20,48	118,25	185,30	-21,88	117,22	214,11	+25,53	95,88	184,67	-33,72	86,52	25
26	198,13	+19,99	118,11	192,53	-22,17	117,19	217,15	+25,79	93,00	194,08	-33,53	86,18	26
27	203,62	+19,55	118,36	199,88	-22,41	117,64	219,40	+25,91	90,49	204,70	-32,64	86,64	27
28	208,52	+19,26	118,96	206,70	-22,58	118,68	220,65	+26,63	88,90	215,19	-31,38	88,15	28
29	212,93	+18,86	120,15	213,33	-22,75	120,32	221,40	+26,65	88,93	225,20	-30,29	90,92	29
30	216,83	+18,47	121,20	219,75	-23,02	121,88	221,87	+27,12	89,39	234,75	-28,79	94,16	30
31	221,10	+18,42	122,03	226,45	-23,35	122,87	222,70	+27,65	89,87	244,17	-27,49	97,17	31

Nr.	Schwerpunkt des ganzen Armes						Schwerpunkt des Rumpfes			Schwerpunkt des Kopfes			Nr.
	rechts			links			<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	
	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>							
1	55,65	+23,39	106,44	43,58	-28,00	101,46	44,05	-0,92	107,63	42,73	-0,96	152,43	1
2	59,47	+23,28	105,48	51,93	-27,29	101,97	50,30	-1,11	108,45	48,71	-1,35	153,33	2
3	62,64	+22,78	105,22	60,49	-26,26	103,55	56,18	-1,22	109,79	54,76	-1,49	154,65	3
4	65,43	+22,65	105,53	69,18	-25,25	105,98	61,97	-1,29	110,98	61,05	-1,47	156,04	4
5	67,76	+22,78	105,96	77,14	-24,50	108,51	67,45	-1,35	111,78	66,81	-1,35	156,95	5
6	70,41	+22,92	106,19	85,11	-23,79	110,49	73,07	-1,46	112,10	72,82	-1,18	157,20	6
7	73,69	+23,10	106,13	93,02	-23,20	112,00	78,91	-1,44	111,82	79,04	-0,93	156,77	7
8	77,24	+23,38	105,73	99,71	-22,71	112,65	84,09	-1,42	110,95	84,57	-0,76	155,89	8
9	82,18	+23,68	104,91	107,23	-22,26	112,66	90,27	-1,29	109,49	91,18	-0,50	154,54	9
10	87,58	+24,05	103,84	113,83	-21,85	111,88	96,31	-1,12	108,23	97,38	-0,27	153,30	10
11	93,99	+24,54	102,81	120,27	-21,54	110,67	103,00	-0,79	107,50	103,90	+0,09	152,46	11
12	101,25	+24,99	102,25	125,88	-21,25	109,32	109,68	-0,27	107,18	110,20	+0,53	152,11	12
13	109,61	+25,52	101,93	131,03	-21,35	107,84	116,70	+0,37	107,38	116,70	+0,98	152,30	13
14	118,16	+25,82	102,11	135,33	-21,36	106,76	123,00	+0,84	107,86	122,58	+1,33	152,96	14
15	127,52	+26,12	102,90	139,33	-21,82	106,01	129,11	+1,29	108,92	128,65	+1,55	154,08	15
16	136,55	+26,06	104,71	142,53	-22,46	106,07	134,84	+1,46	110,25	134,54	+1,62	155,43	16
17	145,26	+25,95	106,87	145,22	-23,24	106,38	140,49	+1,53	111,33	140,26	+1,62	156,49	17
18	153,86	+25,87	108,78	147,94	-24,12	106,62	146,14	+1,63	111,93	145,94	+1,61	156,98	18
19	162,53	+25,59	110,29	151,01	-25,17	106,50	151,92	+1,54	111,91	151,84	+1,50	156,81	19
20	170,87	+25,02	111,22	154,72	-25,89	106,28	157,71	+1,31	111,32	157,86	+1,30	156,10	20
21	178,19	+24,58	111,53	158,89	-26,49	105,75	163,20	+1,30	110,33	163,53	+1,29	155,09	21
22	185,08	+24,07	111,22	163,77	-27,01	104,91	168,86	+1,11	109,23	169,28	+1,09	154,00	22
23	192,16	+23,61	110,21	170,26	-27,43	103,88	175,60	+0,77	108,32	175,93	+0,77	153,04	23
24	197,94	+23,11	108,82	177,16	-27,64	103,09	182,07	+0,31	107,88	182,17	+0,33	152,50	24
25	203,04	+22,91	107,49	185,00	-27,58	102,45	188,98	-0,31	107,77	188,52	-0,14	152,31	25
26	207,28	+22,78	106,03	193,28	-27,63	102,27	195,48	-0,90	107,97	194,50	-0,61	152,60	26
27	211,21	+22,61	104,95	202,20	-27,33	102,73	201,92	-1,25	108,50	200,57	-1,01	153,31	27
28	214,35	+22,80	104,50	210,78	-26,81	104,00	207,82	-1,38	109,52	206,45	-1,22	154,40	28
29	217,00	+22,71	105,13	219,04	-26,38	106,18	213,59	-1,53	110,80	212,40	-1,40	155,69	29
30	219,25	+22,63	105,90	226,97	-25,80	108,55	219,16	-1,70	111,79	218,16	-1,51	156,70	30
31	221,87	+22,86	106,56	234,97	-25,34	110,51	224,83	-1,76	112,35	224,09	-1,43	157,22	31

Nr.	Schwerpunkt von: Rumpf + Kopf			Schwerpunkt beider Arme			Schwerpunkt von: Rumpf + Kopf + beide Arme			Nr.
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	
1	43,86	-0,93	113,99	49,62	-2,31	103,95	45,05	-1,22	111,91	1
2	50,07	-1,14	114,82	55,70	-2,01	103,73	51,24	-1,32	112,52	2
3	55,98	-1,26	116,16	61,57	-1,74	104,39	57,14	-1,36	113,72	3
4	61,84	-1,32	117,38	67,31	-1,30	105,76	62,97	-1,32	114,97	4
5	67,36	-1,35	118,19	72,45	-0,86	107,24	68,41	-1,25	115,92	5
6	73,03	-1,42	118,50	77,76	-0,44	108,34	74,01	-1,22	116,40	6
7	78,93	-1,37	118,20	83,36	-0,05	109,07	79,85	-1,10	116,31	7
8	84,16	-1,33	117,33	88,48	+0,34	109,19	85,05	-0,98	115,65	8
9	90,40	-1,18	115,89	94,71	+0,71	108,79	91,29	-0,79	114,42	9
10	96,46	-1,00	114,63	100,71	+1,10	107,86	97,34	-0,57	113,23	10
11	103,13	-0,67	113,88	107,13	+1,50	106,74	103,96	-0,22	112,40	11
12	109,75	-0,16	113,56	113,57	+1,87	105,79	110,54	+0,26	111,95	12
13	116,70	+0,46	113,76	120,32	+2,09	104,89	117,45	+0,80	111,92	13
14	122,94	+0,91	114,26	126,75	+2,23	104,44	123,73	+1,18	112,23	14
15	129,04	+1,33	115,33	133,43	+2,15	104,46	129,95	+1,50	113,08	15
16	134,80	+1,48	116,67	139,54	+1,80	105,39	135,78	+1,55	114,34	16
17	140,46	+1,54	117,74	145,24	+1,36	106,63	141,45	+1,50	115,44	17
18	146,11	+1,63	118,33	150,90	+0,88	107,70	147,10	+1,47	116,13	18
19	151,91	+1,53	118,29	156,77	+0,21	108,40	152,92	+1,26	116,24	19
20	157,73	+1,31	117,68	162,80	-0,44	108,75	158,78	+0,95	115,83	20
21	163,25	+1,30	116,69	168,54	-0,96	108,64	164,35	+0,83	115,02	21
22	168,92	+1,11	115,59	174,43	-1,47	108,07	170,06	+0,58	114,03	22
23	175,65	+0,77	114,67	181,21	-1,91	107,05	176,80	+0,22	113,09	23
24	182,08	+0,31	114,22	187,55	-2,27	105,96	183,21	-0,22	112,51	24
25	188,91	-0,29	114,09	194,02	-2,34	104,97	189,97	-0,71	112,20	25
26	195,34	-0,86	114,31	200,28	-2,43	104,15	196,36	-1,18	112,21	26
27	201,73	-1,22	114,86	206,71	-2,36	103,84	202,76	-1,46	112,58	27
28	207,63	-1,36	115,89	212,57	-2,01	104,25	208,65	-1,49	113,48	28
29	213,42	-1,51	117,17	218,01	-1,84	105,66	214,37	-1,58	114,79	29
30	219,02	-1,67	118,17	223,11	-1,59	107,23	219,87	-1,65	115,91	30
31	224,72	-1,71	118,72	228,42	-1,24	108,54	225,49	-1,61	116,61	31

Nr.	Schwerpunkt des Oberschenkels						Schwerpunkt des Unterschenkels						Nr.
	rechts			links			rechts			links			
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	
1	39,73	+9,37	65,22	52,72	-9,23	68,69	23,12	+9,54	33,71	63,64	-7,73	33,11	1
2	49,37	+9,34	65,68	57,45	-9,45	69,27	34,15	+9,61	34,42	65,66	-7,88	33,22	2
3	58,26	+9,09	67,03	61,58	-9,64	70,19	46,18	+9,29	35,12	66,93	-8,02	33,39	3
4	66,38	+8,80	68,39	65,42	-9,60	70,70	58,67	+8,84	35,73	67,83	-7,84	33,47	4
5	73,75	+8,57	69,56	68,93	-9,56	71,04	70,36	+8,55	36,00	68,52	-7,68	33,58	5
6	80,75	+8,26	70,35	72,48	-9,51	71,14	82,29	+8,22	35,76	69,24	-7,48	33,68	6
7	87,37	+7,93	70,35	76,34	-9,47	70,92	94,07	+7,88	35,03	70,35	-7,33	33,68	7
8	92,87	+7,62	69,32	80,01	-9,41	70,35	103,80	+7,65	34,21	71,59	-7,15	33,60	8
9	98,54	+7,09	67,27	84,65	-9,28	69,41	113,61	+7,23	33,30	73,50	-7,01	33,52	9
10	104,60	+6,83	65,87	89,63	-9,24	68,74	121,49	+6,78	32,79	76,09	-7,10	33,66	10
11	112,52	+7,13	65,99	95,91	-9,38	68,33	129,12	+6,53	32,56	80,13	-7,67	34,00	11
12	119,90	+7,51	65,93	102,84	-9,49	68,05	135,13	+6,35	32,09	85,33	-8,44	34,64	12
13	126,67	+8,51	66,31	111,37	-9,68	67,81	139,66	+7,13	31,87	93,38	-9,45	35,47	13
14	132,82	+9,08	67,03	119,91	-9,53	67,40	143,47	+7,44	32,22	103,14	-9,85	36,29	14
15	137,27	+9,58	67,42	129,02	-9,02	67,92	145,06	+7,46	32,13	115,12	-9,79	37,25	15
16	141,03	+9,60	68,05	137,18	-8,77	69,36	145,93	+7,26	32,11	126,06	-9,53	38,00	16
17	144,52	+9,48	68,61	144,93	-8,63	70,99	146,54	+7,00	32,02	138,80	-9,21	38,20	17
18	147,90	+9,20	68,77	152,51	-8,51	72,05	147,05	+6,58	31,95	150,87	-8,91	37,92	18
19	151,42	+9,01	68,70	159,70	-8,28	72,40	147,75	+6,32	31,91	163,00	-8,50	37,16	19
20	155,11	+8,85	68,21	166,24	-7,95	71,87	148,72	+6,15	31,75	174,57	-8,05	36,08	20
21	158,94	+8,64	67,53	171,58	-7,60	70,50	150,04	+5,92	31,61	184,03	-7,59	35,09	21
22	163,20	+8,54	66,93	176,69	-7,18	68,94	151,95	+5,82	31,68	191,96	-7,13	34,52	22
23	168,98	+8,51	66,58	183,73	-7,21	68,26	155,26	+6,12	32,07	199,81	-6,66	34,14	23
24	175,32	+8,51	66,31	191,16	-7,80	68,38	159,63	+6,54	32,57	206,17	-6,78	33,62	24
25	182,72	+8,33	66,07	197,63	-8,48	68,35	165,62	+6,96	33,18	210,82	-7,14	33,18	25
26	191,16	+8,46	65,68	204,16	-9,39	68,97	174,23	+7,88	33,81	215,40	-7,73	33,50	26
27	200,49	+8,29	65,46	209,91	-9,86	69,52	185,49	+8,24	34,38	218,72	-8,00	33,67	27
28	209,47	+7,97	66,56	214,40	-10,07	70,11	197,58	+8,17	35,09	220,30	-8,06	33,77	28
29	217,80	+7,83	68,18	218,48	-10,03	70,69	209,40	+8,12	35,93	221,37	-7,88	33,85	29
30	225,56	+7,69	69,58	222,16	-9,90	71,10	220,93	+8,06	36,40	222,23	-7,62	33,94	30
31	233,06	+7,60	70,59	225,59	-9,80	71,35	233,01	+7,95	36,28	223,05	-7,50	34,03	31

Nr.	Schwerpunkt des Fusses						Schwerpunkt von: Unterschenkel + Fuss						Nr.
	rechts			links			rechts			links			
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	
1	4,45	+ 6,98	14,22	71,10	- 6,02	6,01	18,40	+ 8,89	28,78	65,53	- 7,30	26,25	1
2	13,88	+ 6,77	16,63	71,09	- 6,02	6,02	29,02	+ 8,89	29,92	67,02	- 7,41	26,34	2
3	26,56	+ 6,22	16,45	71,08	- 6,00	6,03	41,22	+ 8,51	30,40	67,98	- 7,51	26,47	3
4	42,00	+ 6,04	14,81	71,06	- 5,98	6,03	54,45	+ 8,13	30,44	68,65	- 7,37	26,53	4
5	57,84	+ 6,04	12,53	71,03	- 5,95	6,05	67,19	+ 7,91	30,06	69,16	- 7,24	26,61	5
6	75,38	+ 6,30	10,15	71,04	- 5,95	6,07	80,54	+ 7,73	29,28	69,71	- 7,09	26,69	6
7	94,03	+ 6,57	8,65	71,05	- 5,91	6,10	94,06	+ 7,55	28,36	70,53	- 6,97	26,70	7
8	110,29	+ 6,84	8,76	71,06	- 5,90	6,12	105,44	+ 7,45	27,77	71,46	- 6,83	26,65	8
9	127,15	+ 7,69	10,80	71,09	- 5,90	6,18	117,04	+ 7,35	27,61	72,89	- 6,73	26,60	9
10	137,70	+ 8,16	12,49	71,56	- 6,09	6,46	125,59	+ 7,13	27,65	74,94	- 6,84	26,78	10
11	142,90	+ 7,06	10,43	72,21	- 6,34	7,10	132,61	+ 6,66	26,96	78,13	- 7,33	27,19	11
12	146,27	+ 5,69	8,41	73,73	- 6,75	8,31	137,95	+ 6,18	26,10	82,40	- 8,01	27,98	12
13	147,94	+ 5,40	6,88	76,82	- 6,85	11,25	141,75	+ 6,69	25,55	89,19	- 8,79	29,34	13
14	148,36	+ 5,31	6,50	83,59	- 7,48	15,10	144,71	+ 6,90	25,71	98,19	- 9,25	30,93	14
15	148,37	+ 5,27	6,52	94,73	- 7,57	17,29	145,90	+ 6,91	25,65	109,96	- 9,23	32,20	15
16	148,39	+ 5,23	6,54	108,94	- 7,19	16,60	146,55	+ 6,75	25,64	122,40	- 8,94	32,59	16
17	148,40	+ 5,19	6,56	124,65	- 6,71	14,37	147,01	+ 6,54	25,58	135,22	- 8,58	32,17	17
18	148,41	+ 5,15	6,61	141,72	- 6,57	11,65	147,39	+ 6,22	25,54	148,56	- 8,32	31,27	18
19	148,43	+ 5,14	6,63	160,20	- 6,75	9,33	147,92	+ 6,02	25,51	162,29	- 8,06	30,12	19
20	148,46	+ 5,11	6,66	178,86	- 6,97	8,35	148,65	+ 5,89	25,40	175,66	- 7,78	29,06	20
21	148,51	+ 5,05	6,71	195,31	- 7,38	9,43	149,65	+ 5,70	25,31	186,88	- 7,54	28,60	21
22	148,81	+ 5,11	6,93	208,80	- 7,85	11,97	151,16	+ 5,64	25,42	196,22	- 7,31	28,81	22
23	149,37	+ 5,12	7,56	217,38	- 7,65	12,25	153,77	+ 5,87	25,87	204,26	- 6,91	28,60	23
24	150,27	+ 5,32	8,55	220,39	- 6,53	9,45	157,26	+ 6,23	26,49	209,77	- 6,72	27,50	24
25	152,28	+ 5,17	10,54	223,56	- 5,58	7,66	162,24	+ 6,51	27,45	214,04	- 6,75	26,72	25
26	156,39	+ 5,30	13,41	224,65	- 5,50	6,81	169,72	+ 7,23	28,65	217,74	- 7,17	26,75	26
27	164,98	+ 5,55	16,50	224,69	- 5,65	6,67	180,30	+ 7,56	29,86	220,23	- 7,41	26,84	27
28	176,93	+ 5,64	16,99	224,70	- 5,66	6,68	192,36	+ 7,53	30,51	221,41	- 7,45	26,92	28
29	191,01	+ 5,71	15,91	224,71	- 5,67	6,67	204,75	+ 7,51	30,86	222,22	- 7,32	26,97	29
30	206,33	+ 6,05	13,81	224,72	- 5,68	6,66	217,24	+ 7,55	30,68	222,86	- 7,13	27,04	30
31	223,72	+ 6,38	11,14	224,73	- 5,68	6,66	230,66	+ 7,55	29,92	223,48	- 7,04	27,11	31

Nr.	Schwerpunkt des ganzen Beins						Schwerpunkt beider Beine			Gesamtschwerpunkt des ganzen Körpers			Nr.
	rechts			links			x	y	z	x	y	z	
	x	y	z	x	y	z							
1	31,65	+ 9,19	51,41	57,57	- 8,50	52,61	44,61	+ 0,35	52,01	44,89	- 0,63	89,57	1
2	41,66	+ 9,17	52,13	61,08	- 8,68	53,00	51,37	+ 0,25	52,57	51,29	- 0,73	90,16	2
3	51,80	+ 8,87	53,15	64,01	- 8,83	53,62	57,91	+ 0,02	53,39	57,43	- 0,85	91,22	3
4	61,86	+ 8,55	54,01	66,64	- 8,75	53,96	64,25	- 0,10	53,98	63,45	- 0,86	92,22	4
5	71,26	+ 8,32	54,59	69,02	- 8,68	54,20	70,14	- 0,18	54,40	69,06	- 0,85	92,97	5
6	80,67	+ 8,06	54,78	71,43	- 8,59	54,29	76,05	- 0,27	54,54	74,77	- 0,87	93,33	6
7	89,91	+ 7,79	54,43	74,14	- 8,52	54,16	82,03	- 0,37	54,30	80,66	- 0,83	93,18	7
8	97,63	+ 7,56	53,57	76,77	- 8,43	53,79	87,20	- 0,44	53,68	85,85	- 0,78	92,54	8
9	105,55	+ 7,19	52,24	80,19	- 8,31	53,19	92,87	- 0,56	52,72	91,88	- 0,70	91,41	9
10	112,56	+ 6,94	51,38	84,06	- 8,33	52,84	98,31	- 0,70	52,11	97,70	- 0,62	90,43	10
11	120,13	+ 6,95	51,20	89,17	- 8,60	52,74	104,65	- 0,83	51,97	104,22	- 0,45	89,86	11
12	126,74	+ 7,01	50,83	95,09	- 8,93	52,86	110,92	- 0,96	51,85	110,68	- 0,20	89,53	12
13	132,39	+ 7,82	50,86	102,96	- 9,34	53,23	117,68	- 0,76	52,05	117,54	+ 0,22	89,59	13
14	137,33	+ 8,25	51,37	111,68	- 9,42	53,58	124,51	- 0,59	52,48	124,02	+ 0,52	89,94	14
15	140,54	+ 8,57	51,59	121,80	- 9,10	54,38	131,17	- 0,27	52,98	130,41	+ 0,84	90,66	15
16	143,12	+ 8,52	51,98	131,58	- 8,83	55,42	137,35	- 0,16	53,70	136,37	+ 0,91	91,72	16
17	145,46	+ 8,37	52,30	141,25	- 8,61	56,28	143,36	- 0,12	54,29	142,16	+ 0,90	92,63	17
18	147,71	+ 8,07	52,39	151,01	- 8,44	56,59	149,36	- 0,19	54,49	147,94	+ 0,85	93,14	18
19	150,09	+ 7,88	52,33	160,68	- 8,20	56,38	155,39	- 0,16	54,36	153,84	+ 0,73	93,16	19
20	152,66	+ 7,73	51,99	169,81	- 7,89	55,65	161,24	- 0,08	53,82	159,70	+ 0,57	92,70	20
21	155,42	+ 7,53	51,53	177,38	- 7,58	54,62	166,40	- 0,03	53,08	165,11	+ 0,51	91,92	21
22	158,64	+ 7,44	51,20	184,09	- 7,23	53,73	171,37	+ 0,11	52,47	170,55	+ 0,40	91,07	22
23	163,22	+ 7,51	51,15	191,51	- 7,10	53,23	177,37	+ 0,21	52,19	177,01	+ 0,22	90,37	23
24	168,48	+ 7,65	51,22	198,21	- 7,39	52,89	183,35	+ 0,13	52,06	183,26	- 0,09	89,96	24
25	174,96	+ 7,64	51,43	203,85	- 7,82	52,57	189,41	- 0,09	52,00	189,76	- 0,48	89,75	25
26	183,03	+ 7,99	51,65	209,31	- 8,55	52,97	196,17	- 0,28	52,31	196,29	- 0,84	89,87	26
27	192,84	+ 8,01	51,97	213,82	- 8,93	53,34	203,33	- 0,46	52,66	202,97	- 1,09	90,23	27
28	202,99	+ 7,80	52,90	217,06	- 9,08	53,74	210,03	- 0,64	53,32	209,16	- 1,17	91,04	28
29	212,85	+ 7,71	54,04	219,90	- 9,00	54,12	216,38	- 0,65	54,08	215,12	- 1,23	92,15	29
30	222,41	+ 7,67	54,84	222,43	- 8,85	54,40	222,42	- 0,59	54,62	220,82	- 1,25	93,05	30
31	232,15	+ 7,58	55,18	224,79	- 8,75	54,58	228,47	- 0,59	54,88	226,60	- 1,23	93,58	31

4*



Um zunächst einen Ueberblick über das Verhalten der verschiedenen Schwerpunkte beim Gang des unbelasteten Menschen zu gewinnen, sind auf Tafel III unter Benutzung der x - und z -Coordinationen die Projectionen der Bahnen aller Einzelschwerpunkte (mit rother Farbe) und die einiger Systemschwerpunkte und des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers (mit blauer Farbe) in die Projectionen des Bewegungsvorganges auf die Gangebene für den I. und II. Versuch in $\frac{1}{10}$ natürlicher Grösse eingezeichnet worden. Da die Projectionen der Bewegungsphasen auf dem horizontalen Fussboden an und für sich sehr wenig übersichtlich sind (vgl. Tafel X und XI des I. Theils), so ist davon Abstand genommen worden, für den vorläufigen Ueberblick auch diese Projection der Schwerpunktsbahnen darzustellen.

Aus den Figuren auf Tafel III ist ein sehr bemerkenswerthes Resultat über das Zusammenwirken sowohl der beiden oberen als auch der beiden unteren Extremitäten zu erkennen. Während die Einzelschwerpunkte der Extremitätenabschnitte ohne Ausnahme ziemlich bedeutende Excursionen in verticaler Richtung ausführen, bleibt der Gesamtschwerpunkt beider Beine, dessen Bahn man sich leicht in die Mitte zwischen die Bahnen der beiden Beinschwerpunkte eingeschaltet denken kann, beim Gehen annähernd in einer bestimmten Höhe über dem horizontalen Fussboden. Ferner zeigen die Figuren auf Tafel III, dass die Schwerpunkte des Rumpfes, des Kopfes, des Systems Rumpf + Kopf + beide Arme und endlich des ganzen Körpers Bahnen von ähnlicher Form aufweisen wie die Hüftgelenkmittelpunkte, die Schultergelenkmittelpunkte und der Kopfscheitelpunkt. Dies mag zur vorläufigen Orientirung genügen.

Die Projection der Bahn des Gesamtschwerpunktes des ganzen Körpers auf die zur Gangrichtung senkrechte Verticalebene (YZ -Ebene) muss bei gleichmässigem Gang eine geschlossene Curve sein, welche während eines Doppelschrittes einmal von der Projection des Gesamtschwerpunktes durchlaufen wird. Verschafft man sich diese Projection in natürlicher Grösse, so zeigt sich, dass dieselbe weder beim I. noch beim II. Versuch sich genau schliesst, sondern dass das Ende derselben beim I. Versuch um 0,25 cm, beim II. Versuch um 0,37 cm, in beiden Fällen nach links, vom Anfang abweicht. Uebereinstimmend hiermit findet

man aus der Projection der Schwerpunktsbahn auf den horizontalen Fussboden (XY -Ebene), dass die Punkte derselben, welche um die Länge eines Doppelschrittes von einander entfernt sind, sich nicht in gleichem Abstand von der Gangebene befinden. Daraus geht hervor, dass die mittlere Fortschreitungsrichtung des Gesamtschwerpunktes nicht ganz genau mit der Richtung der X -Axe des Coordinatensystems identisch ist, sondern bei beiden Versuchen von oben betrachtet um einen kleinen Winkel in der umgekehrten Richtung des Uhrzeigers von ihr abweicht. Dieser Winkel ist in beiden Fällen so klein, dass er für die weitere Untersuchung des ganzen Bewegungsvorganges ganz unberücksichtigt bleiben kann; er beträgt beim I. Versuch nur $0^{\circ} 5' 31''$ und beim II. Versuch $0^{\circ} 8' 17''$. Es kann daher nach wie vor die Richtung der X -Axe des Coordinatensystems als Gangrichtung gelten, um so mehr, als bei Betrachtung der einfachen oder der vierfachen Schrittlängen sicher ein anderer Winkel, vielleicht mit entgegengesetztem Vorzeichen, zum Vorschein gekommen wäre. Der Mensch kann unmöglich beim Gehen die einmal eingeschlagene Richtung bis auf einige Winkelminuten im ganzen Verlaufe der Bewegung genau festhalten.

Für die weitere Untersuchung der Bahn des Gesamtschwerpunktes empfiehlt es sich dagegen, das Coordinatensystem so einzurichten, dass die Projection der Schwerpunktsbahn auf die zur Gangrichtung senkrechte Coordinatenebene sich wirklich schliesst. Dies lässt sich durch eine Drehung des ursprünglichen Coordinatensystems um die verticale Z -Axe in der umgekehrten Richtung des Uhrzeigers um die oben angegebenen Abweichungswinkel erreichen. Hierbei können sich nur die x -Coordinaten und y -Coordinaten etwas ändern, während die z -Coordinaten ihre Werthe beibehalten. Bezeichnet man den Drehungswinkel mit ε und die neuen Coordinaten mit x' , y' und z' , so ergeben sich aus Figur 14 auf Seite 240 des I. Theils, wenn man beachtet, dass dort die neuen Axen in der Richtung des Uhrzeigers gegen die alten verdreht waren und in Folge dessen ε das entgegengesetzte Vorzeichen besass, die Transformationsformeln:

$$x' = x \cos \varepsilon - y \sin \varepsilon$$

$$y' = y \cos \varepsilon + x \sin \varepsilon$$

$$z' = z.$$

Nun ist

$\sin(0^\circ 5' 31'') = 0,00160$ und $\cos(0^\circ 5' 31'') = 1$ (abgerundet bis auf 5 Decimalstellen)

$\sin(0^\circ 8' 17'') = 0,00241$ und $\cos(0^\circ 8' 17'') = 1$ (abgerundet bis auf 5 Decimalstellen).

Daher hat man folgende Transformationsformeln zur Berechnung der neuen Coordinaten:

Tabelle 3.

Nr.	I. Versuch		II. Versuch	
	I. Versuch	II. Versuch	I. Versuch	II. Versuch
			$x' = x - 0,0016 \cdot y$	$x' = x - 0,00241 \cdot y$
			$y' = y + 0,0016 \cdot x$	$y' = y + 0,00241 \cdot x$
			$z' = z$	$z' = z$
1	- 1,30	- 0,52		
2	- 1,30	- 0,61		
3	- 1,24	- 0,71		
4	- 1,15	- 0,71		
5	- 1,06	- 0,68		
6	- 0,98	- 0,69		
7	- 0,87	- 0,64		
8	- 0,74	- 0,57		
9	- 0,60	- 0,48		
10	- 0,31	- 0,38		
11	+ 0,11	- 0,20		
12	+ 0,53	+ 0,07		
13	+ 0,91	+ 0,50		
14	+ 1,17	+ 0,82		
15	+ 1,27	+ 1,15		
16	+ 1,26	+ 1,24		
17	+ 1,20	+ 1,24		
18	+ 1,08	+ 1,21		
19	+ 1,00	+ 1,10		
20	+ 0,86	+ 0,95		
21	+ 0,72	+ 0,91		
22	+ 0,46	+ 0,81		
23	+ 0,07	+ 0,65		
24	- 0,41	+ 0,35		
25	- 0,84	- 0,02		
26	- 1,10	- 0,37		
27	- 1,28	- 0,60		
28	- 1,35	- 0,67		
29	- 1,27	- 0,71		
30	- 1,14	- 0,72		
31	- 1,03	- 0,68		

Die Glieder $0,0016 \cdot y$ und $0,00241 \cdot y$ der Formeln würden erst dann einen Werth grösser wie $0,005$ cm erhalten, wenn y im einen Falle mindestens die Grösse von $3,13$ cm und im anderen Falle mindestens die Grösse von $2,07$ cm erreichte. Da nun für die ganze Bahn des Gesamtschwerpunktes die y -Coordinaten unter diesen Werthen bleiben, und die neuen Coordinaten natürlich wieder nur bis auf 2 Decimalstellen genau angegeben werden können, so behalten für den Gesamtschwerpunkt bei beiden Versuchen die x -Coordinaten ihre Werthe bei. Es ändern sich daher bei der Drehung des Coordinatensystems um diesen kleinen Winkel bis auf 2 Decimalstellen genau nur die y -Coordinaten etwas. Dieselben nehmen, wie man aus den Formeln berechnet, die in nebenstehender Tabelle 3 niedergelegten Werthe an.

Zeichnet man jetzt unter Benutzung dieser y -Coordinaten die Projection der Bahn des Gesamtschwerpunktes auf die zur Gangrichtung senkrechte Ebene auf, so erhält man in der That eine geschlossene

Curve (vgl. Tafel VIII und IX das Mittelbild oben). Es sollen daher für die weitere Untersuchung der Bewegung des Gesamtschwerpunktes diese Coordinaten durchweg an Stelle der in den Tabellen 1 und 2 niedergelegten y -Coordinaten verwendet werden, ohne dass jedesmal durch einen dem y beigefügten Strich darauf besonders hingewiesen wird. —

Die Berechnung der Coordinaten des Gesamtschwerpunktes beim III. Versuch war in doppelter Hinsicht umständlicher als bei den beiden anderen. Einmal war man genöthigt, die bei diesem Versuche auf directem Wege nicht gewonnenen Coordinaten des linken Fusschwerpunktes und des linken Handgelenkmittelpunktes (vgl. Tabelle 12 auf den Seiten 262 und 263 des I. Theils) nachträglich auf irgend eine Weise zu ermitteln. Ferner erforderte der Umstand, dass der Gehende beim III. Versuch durch das Militärgepäck belastet war, eine Modification der Berechnung.

Die Coordinaten des linken Fusschwerpunktes wurden auf folgende Weise gewonnen. Bildet man aus den Tabellen 10, 11 und 12 des I. Theils die Differenzen der Coordinaten des Fusschwerpunktes und des Mittelpunktes vom I. Fussgelenk für beide Extremitäten beim I. und II. Versuch, und für die rechte Extremität beim III. Versuch, so zeigt sich grosse Uebereinstimmung in dem Verhalten dieser Differenzen. Man erkennt dies am besten, wenn man sich Diagramme verschafft, welche die Abhängigkeit der betreffenden Differenzen von der Zeit graphisch darstellen. Da die durch die Photographie herausgegriffenen Bewegungsphasen in genau gleichen Zeitintervallen auf einander folgten, so kann man als Abscissen der Diagramme Strecken wählen, deren Längen durch die Nummern der einzelnen Bewegungsphasen gemessen werden. Als Ordinaten kann man die Differenzen der Coordinaten des Fusschwerpunktes und Fussgelenkmittelpunktes in natürlicher Grösse verwenden. Auf Tafel IV sind als Beispiel die fünf Diagramme für die x -Coordinaten aufgezeichnet worden. Dabei ist für die zwei zu dem gleichen Versuch gehörenden Diagramme der rechten und linken Körperseite immer die gleiche Abscissenaxe verwendet worden; natürlich erscheinen dann dieselben um die in Phasenummern ausgedrückte Dauer eines Schrittes gegen einander auf der Abscissenaxe verschoben. Auch die zu verschiedenen Versuchen gehörenden Diagramme für dieselbe Körperseite, welche auf Tafel IV über einander gezeichnet sind, müssen

etwas gegen einander verschoben sein, da die mit gleicher Nummer versehenen Bewegungsphasen der drei Versuche nicht genau einander entsprechende Momente des ganzen Bewegungsvorganges herausgreifen. Ferner müssen sich auch kleine Verschiedenheiten in der Ausdehnung der zu verschiedenen Versuchen gehörenden Diagramme längs der Abscissenaxe herausstellen, da die Schrittdauer nicht bei allen Versuchen absolut dieselbe war. Abgesehen von diesen Unterschieden in der Lage und Breitenausdehnung und kleinen Abweichungen in der Höhe sind aber die fünf Diagramme nahezu identisch. Man ist daher berechtigt, auch dem noch fehlenden Diagramm für die Differenzen der x -Coordinationen der linken Extremität beim III. Versuch die gleiche Form zuzuschreiben. Betreffs der Schrittdauer stimmt der III. Versuch ziemlich genau mit dem I. Versuch überein, wie sich aus den Diagrammen der rechten Seite ergibt; ferner erkennt man aus den letzteren auch, dass die Ordinaten, namentlich die negativen, beim III. Versuch etwas kleiner sind als beim I. Versuch. Berücksichtigt man dies und beachtet gleichzeitig, dass der Phase III, 1 ziemlich genau die Phase I, $2\frac{1}{3}$ entspricht, so kann man das Diagramm der x -Coordinate für die linke Extremität beim III. Versuch direct aus dem entsprechenden des I. Versuchs ableiten. Das Gleiche gilt natürlich für die zu den beiden anderen Coordinationen gehörenden Diagramme. Von den drei auf diese Weise entstehenden Diagrammen findet sich als Beispiel das für die x -Coordinate auf Tafel IV mit aufgezeichnet. Aus den Diagrammen kann man nun rückwärts die Werthe der Differenzen zwischen den Coordinationen des linken Fusschwerpunktes und den entsprechenden des linken Fussgelenkmittelpunktes für den III. Versuch direct ablesen. Addirt man dann diese Differenzen zu den Coordinationen des Fussgelenkmittelpunktes, so erhält man die in Tabelle 5 auf Seite 63 eingetragenen Coordinationen des Schwerpunktes vom linken Fuss.

Für den linken Handgelenkmittelpunkt waren beim III. Versuch nur für 7 Bewegungsphasen (Nr. 3 und Nr. 8 bis 13) die Coordinationen auf directem Wege gewonnen worden (vgl. Tabelle 12 des I. Theils). Zur Bestimmung der noch fehlenden Coordinationen sind nun zunächst für diese 7 Bewegungsphasen die Differenzen der Coordinationen der Mittelpunkte des Handgelenks und Ellbogen-gelenks berechnet worden. Mit denselben kann man in der eben ausführlich auseinandergesetzten Weise Bruchstücke der drei Dia-

gramme construiren, welche die Abhängigkeit dieser Differenzen von der Zeit veranschaulichen. Die entsprechenden Diagramme für die rechte Körperseite beim III. Versuch und für beide Körperseiten bei den beiden anderen Versuchen können in diesem Falle nicht zum Vergleich herangezogen werden, weil der linke Unterarm beim III. Versuch das Gewehr zu halten hatte und in Folge dessen nahezu seine Richtung im Raume beibehielt. Dieser letzte Umstand giebt aber nun gerade die Möglichkeit, trotzdem mit einiger Annäherung die noch fehlenden Coordinaten zu reconstruiren. Aus dem Verhalten des belasteten linken Armes folgt nämlich, dass die in Frage stehenden Coordinatendifferenzen während der Bewegung nahezu constant bleiben werden. Man würde daher sich nicht allzuweit von der Wahrheit entfernen, wenn man ihnen übereinstimmend die aus den vorhandenen 7 Coordinatentripeln resultirenden Mittelwerthe zulegte. Es lässt sich aber sogar eine noch etwas grössere Genauigkeit erreichen, wenn man die kleinen Abweichungen näher in's Auge fasst, welche die 7 bekannten Differenzen bei jeder der drei Coordinaten von dem Mittelwerthe zeigen. Berücksichtigt man dabei, dass in den kleinen Schwankungen wie bei allen anderen derartigen Diagrammen jedenfalls der Rhythmus der Gehbewegungen zum Ausdruck kommen muss, so hat man keine grosse Wahl mehr, wenn man aus den bekannten Bruchstücken die Diagramme vervollständigen will. Aus den auf diese Weise hergestellten Diagrammen, welche hier nicht besonders wiedergegeben werden sollen, um die Arbeit nicht mit unwesentlichen Tafeln zu überlasten, gewinnt man dann wieder rückwärts die noch fehlenden Coordinatendifferenzen. Die Addition der letzteren zu den entsprechenden Coordinaten des Mittelpunktes vom linken Ellbogengelenk ergiebt dann schliesslich die in Tabelle 4 auf der folgenden Seite niedergelegten Coordinaten des linken Handgelenkmittelpunktes, welche nachträglich in die Tabelle 12 auf Seite 262 des I. Theils einzutragen sind.

Diese Coordinaten können naturgemäss nicht den gleichen Anspruch auf Genauigkeit machen wie die seiner Zeit direct bestimmten Coordinaten der Gelenkmittelpunkte, selbst nicht wie die auch erst auf Umwegen gewonnenen Coordinaten des linken Fusschwerpunktes. Wenn dieselben trotzdem bis auf Zehntelmillimeter angegeben sind, so ist das nur im Interesse der Gleichmässigkeit

Tabelle 4.
Ergänzungstabelle zu Tabelle 12 auf
S. 262 des I. Theils der Untersuchung
über den Gang des Menschen.

**Coordination des Mittelpunktes
vom linken Handgelenk.**

Nr.	III. Versuch		
	x	y	z
1	64,11	— 21,67	100,43
2	69,27	— 21,21	101,39
3	74,32	— 20,96	101,71
4	79,34	— 20,67	101,39
5	84,40	— 20,22	100,35
6	89,71	— 19,72	98,90
7	95,31	— 19,26	97,36
8	101,43	— 18,83	96,24
9	107,46	— 18,19	95,58
10	113,57	— 17,66	95,67
11	119,60	— 17,16	96,51
12	125,26	— 16,76	97,53
13	130,39	— 16,79	98,79
14	135,09	— 16,76	99,88
15	139,69	— 16,78	100,37
16	144,29	— 16,81	100,24
17	149,21	— 16,84	99,50
18	154,37	— 17,02	98,37
19	159,75	— 17,27	97,18
20	165,36	— 17,60	96,09
21	171,19	— 18,02	95,58
22	177,29	— 18,60	95,48
23	183,78	— 19,23	96,14
24	190,23	— 19,97	97,44
25	196,51	— 20,65	98,75
26	202,44	— 20,79	99,93
27	207,97	— 20,78	100,82
28	213,12	— 20,90	101,39
29	218,35	— 21,23	101,35
30	223,45	— 21,32	100,60
31	228,52	— 21,41	99,31

Rücksicht auf das getragene Gepäck zu berechnen; denn die noch fehlenden Coordinaten für die linke Fusspitze werden hierzu nicht gebraucht. Die bei der Rechnung sich ergebenden Coordinaten

der weiteren Berechnungen geschehen. Auf die Bestimmung der Coordinaten des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers werden jedoch die Fehler, welche den Coordinaten dieser Ergänzungstabelle anhaften, einen nur verschwindenden Einfluss ausüben. Denn einmal kommt für die Lage des Gesamtschwerpunktes nur die Richtung der Unterarm längsaxe, nicht aber die genaue Lage des Handgelenkmittelpunktes, in Betracht; diese wird aber durch kleine Abweichungen in der Lage des Handgelenkmittelpunktes nur in geringem Maasse beeinträchtigt. Dann liefert aber überhaupt der Unterarm bei der Ortsbestimmung des Gesamtschwerpunktes nur einen kleinen Beitrag, für den die sehr kleine proximale Hauptstrecke des Systems Unterarm + Hand das Maass abgibt, wie im ersten Abschnitt unter B ausführlich auseinandergesetzt worden ist.

Durch die Bestimmung der noch fehlenden Coordinaten des Schwerpunktes vom linken Fuss und des Mittelpunktes vom linken Handgelenk ist man nun in den Stand gesetzt, für den III. Versuch in derselben Weise wie für die beiden anderen zunächst die Coordinaten des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers ohne

der verschiedenen Neigungen des Rumpfes beim Gang, welche im I. Theil dieser Untersuchung ausführlich beschrieben worden sind, der Schwerpunkt des ganzen Gepäcks mit grosser Annäherung eine Bahn beschreiben, welche mit der Bahn des Rumpfschwerpunktes congruent ist und nur etwas nach hinten, links und oben gegen dieselbe verschoben erscheint. Wie ein Vergleich der Coordinaten des Gepäckschwerpunktes und Rumpfschwerpunktes lehrt, beträgt diese Verschiebung nach hinten 6,97 cm, nach links 2,51 cm und nach oben 0,33 cm. Man erhält daher mit grosser Annäherung die Coordinaten des Gepäckschwerpunktes für alle 31 Bewegungsphasen des III. Versuches, wenn man von den in der späteren Tabelle 5 niedergelegten Coordinaten des Rumpfschwerpunktes zu den x -Coordinaten — 6,97, zu den y -Coordinaten — 2,51 und zu den z -Coordinaten + 0,33 addirt. Auf diese Weise sind die ebenfalls in Tabelle 5 in der vorletzten Spalte aufgezeichneten Coordinaten für den Gesamtschwerpunkt des Gepäcks berechnet worden.

Mit Hülfe dieser letzteren Coordinaten lassen sich nun leicht aus den ebenfalls in Tabelle 5 niedergelegten Coordinaten des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers ohne Gepäck die Coordinaten des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers mit Gepäck ableiten. Bezeichnet man die letzteren mit X_0, Y_0, Z_0 , die ersteren mit x_0, y_0, z_0 und die Coordinaten des Schwerpunktes des ganzen Gepäcks mit x_{13}, y_{13}, z_{13} , so ist nach den früheren Auseinandersetzungen:

$$X_0 = x_0 + \mu (x_{13} - x_0)$$

$$Y_0 = y_0 + \mu (y_{13} - y_0)$$

$$Z_0 = z_0 + \mu (z_{13} - z_0),$$

unter μ das Verhältniss der Masse des ganzen Gepäcks zu der Summe der Massen des menschlichen Körpers und des ganzen Gepäcks verstanden. Da das Gepäck allein 23,27 kg, unser Versuchsindividuum aber 58,7 kg wog, so besitzt demnach dieses Verhältniss den Werth

$$\mu = \frac{23,27}{81,97} = 0,284.$$

Mit Hülfe dieser Formeln sind nun die Coordinaten des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers mit vollem Gepäck berechnet und an letzter Stelle in die folgende Tabelle 5 neben den Coordinaten für alle Einzelschwerpunkte und System-schwerpunkte des III. Versuches eingetragen worden.

Nr.	Schwerpunkt des Oberarms						Schwerpunkt des Unterarms						Nr.
	rechts			links			rechts			links			
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	
1	36,23	+18,23	120,30	35,91	-22,60	121,98	47,54	+24,60	87,42	54,56	-23,57	103,10	1
2	40,77	+18,69	121,35	41,36	-22,44	123,04	48,47	+26,36	87,68	59,78	-23,23	104,10	2
3	45,22	+19,30	122,09	46,79	-22,37	123,55	49,74	+28,07	88,10	64,94	-23,10	104,50	3
4	49,65	+19,88	122,39	52,14	-22,09	123,46	51,45	+29,77	88,52	70,04	-22,85	104,27	4
5	54,30	+20,42	122,13	57,51	-21,70	122,70	53,89	+31,32	88,55	75,15	-22,39	103,31	5
6	59,37	+20,99	121,34	62,97	-21,15	121,50	57,37	+32,60	88,11	80,47	-21,87	101,94	6
7	64,88	+21,51	120,23	68,55	-20,62	120,15	61,96	+33,77	87,29	86,05	-21,36	100,45	7
8	71,03	+22,08	119,06	74,39	-19,92	118,98	67,88	+34,80	86,26	92,08	-20,84	99,32	8
9	77,61	+22,77	118,20	80,15	-19,14	118,18	75,24	+35,44	85,37	98,00	-20,14	98,60	9
10	84,46	+23,37	117,93	86,11	-18,44	118,02	83,75	+35,69	84,90	104,09	-19,50	98,59	10
11	91,42	+23,92	118,23	91,87	-17,73	118,40	93,42	+35,61	85,22	110,09	-18,90	99,26	11
12	98,13	+24,21	119,33	97,34	-17,21	119,25	103,66	+35,05	86,40	115,69	-18,43	100,20	12
13	104,74	+24,41	120,81	102,44	-16,95	120,51	114,32	+34,12	88,56	120,80	-18,33	101,45	13
14	111,10	+24,54	122,44	107,25	-16,78	121,82	124,65	+32,82	91,51	125,53	-18,24	102,60	14
15	117,54	+24,57	123,76	112,15	-16,65	122,62	134,76	+31,14	94,74	130,20	-18,20	103,19	15
16	123,46	+24,46	124,41	117,06	-16,61	122,77	143,74	+29,35	97,72	134,89	-18,21	103,14	16
17	129,50	+24,34	124,29	122,21	-16,59	122,44	152,18	+27,56	100,12	139,88	-18,22	102,48	17
18	135,45	+24,06	123,71	127,45	-16,71	121,33	159,78	+25,92	101,90	145,09	-18,40	101,42	18
19	141,45	+23,62	122,79	132,87	-16,93	120,27	166,72	+24,57	102,73	150,51	-18,66	100,27	19
20	147,25	+23,06	121,67	138,43	-17,34	119,14	172,79	+23,55	102,42	156,13	-19,02	99,18	20
21	152,98	+22,50	120,72	144,24	-17,90	118,37	178,30	+23,00	100,84	161,94	-19,48	98,60	21
22	158,44	+21,74	119,98	150,13	-18,63	117,96	182,85	+22,64	98,57	167,98	-20,11	98,40	22
23	163,41	+21,03	119,49	156,18	-19,44	118,25	186,40	+22,82	95,71	174,40	-20,82	98,93	23
24	168,28	+20,39	119,43	162,27	-20,25	119,14	188,76	+23,59	92,76	180,80	-21,64	100,13	24
25	172,85	+19,87	119,68	168,09	-21,03	120,22	190,01	+24,47	90,27	186,98	-22,41	101,41	25
26	177,10	+19,35	120,45	173,74	-21,43	121,58	190,49	+25,36	88,85	192,87	-22,64	102,64	26
27	181,02	+19,06	121,31	179,31	-21,84	122,74	190,46	+26,44	88,55	198,41	-22,73	103,63	27
28	184,75	+18,83	122,11	184,66	-22,15	123,56	190,72	+27,38	88,77	203,64	-22,94	104,29	28
29	188,79	+18,73	122,63	190,19	-22,56	123,74	191,56	+28,24	89,04	208,97	-23,35	104,34	29
30	193,12	+18,64	122,53	195,61	-22,81	123,20	193,36	+28,65	89,08	214,14	-23,51	103,64	30
31	197,77	+18,52	121,98	201,00	-22,87	122,09	196,10	+29,45	88,76	219,26	-23,57	102,40	31

Nr.	Schwerpunkt des ganzen Arms						Schwerpunkt des Rumpfes			Schwerpunkt des Kopfes			Nr.
	rechts			links			x	y	z	x	y	z	
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	
1	41,67	+21,29	104,48	44,88	-23,07	112,90	33,65	-2,68	111,26	37,48	-2,02	154,51	1
2	44,47	+22,38	105,15	50,22	-22,82	113,93	38,99	-2,34	112,26	43,15	-1,73	155,37	2
3	47,39	+23,52	105,74	55,52	-22,72	114,39	44,27	-2,03	112,74	48,77	-1,43	155,76	3
4	50,52	+24,64	106,10	60,75	-22,46	114,23	49,55	-1,67	112,73	54,34	-1,03	155,57	4
5	54,10	+25,66	105,98	65,99	-22,03	113,37	54,83	-1,28	112,08	60,07	-0,66	154,84	5
6	58,41	+26,57	105,36	71,39	-21,50	112,09	60,24	-0,86	110,96	65,85	-0,25	153,72	6
7	63,48	+27,41	104,39	76,97	-20,98	110,67	65,76	-0,41	109,69	71,48	+0,26	152,45	7
8	69,51	+28,20	103,28	82,90	-20,36	109,52	71,60	+0,14	108,69	77,26	+0,91	151,38	8
9	76,47	+28,86	102,41	88,74	-19,62	108,76	77,73	+0,81	108,06	83,09	+1,47	150,69	9
10	84,12	+29,30	102,04	94,76	-18,95	108,67	84,11	+1,57	108,03	88,85	+1,98	150,71	10
11	92,38	+29,54	102,35	100,63	-18,29	109,19	90,39	+2,34	108,45	94,47	+2,39	151,25	11
12	100,79	+29,42	103,49	106,17	-17,80	110,09	96,17	+2,87	109,33	99,93	+2,52	152,25	12
13	109,35	+29,08	105,30	111,27	-17,61	111,34	101,69	+3,19	110,62	105,31	+2,60	153,60	13
14	117,62	+28,52	107,56	116,04	-17,48	112,58	106,83	+3,32	111,96	110,53	+2,67	154,83	14
15	125,82	+27,73	109,80	120,83	-17,40	113,27	111,96	+3,36	112,91	115,78	+2,76	155,59	15
16	133,21	+26,81	111,57	125,64	-17,38	113,33	117,02	+3,29	113,13	120,89	+2,77	155,73	16
17	140,41	+25,89	112,66	130,71	-17,37	112,84	122,20	+3,14	112,89	126,03	+2,76	155,33	17
18	147,15	+24,95	113,22	135,93	-17,52	111,75	127,26	+2,98	111,96	131,22	+2,65	154,40	18
19	153,60	+24,08	113,14	141,35	-17,76	110,65	132,56	+2,74	110,83	136,56	+2,39	153,29	19
20	159,53	+23,30	112,41	146,94	-18,15	109,54	138,08	+2,27	109,65	141,92	+2,05	152,22	20
21	165,16	+22,74	111,16	152,75	-18,66	108,86	143,99	+1,73	108,95	147,58	+1,56	151,44	21
22	170,18	+22,17	109,68	158,72	-19,34	108,55	150,05	+0,94	108,63	153,20	+0,96	151,06	22
23	174,47	+21,89	108,05	164,94	-20,10	108,96	156,15	0	108,83	158,80	+0,27	151,29	23
24	178,13	+21,93	106,60	171,18	-20,92	110,00	162,25	-0,87	109,34	164,48	-0,32	151,90	24
25	181,10	+22,08	105,53	177,18	-21,69	111,17	167,97	-1,44	110,05	169,89	-0,72	152,81	25
26	183,54	+22,24	105,25	182,94	-22,01	112,47	173,48	-1,86	111,12	175,27	-1,06	154,05	26
27	185,56	+22,61	105,55	188,50	-22,27	113,55	178,80	-2,14	112,13	180,68	-1,28	155,11	27
28	187,62	+22,94	106,07	193,79	-22,53	114,29	183,86	-2,43	112,94	185,78	-1,41	155,80	28
29	190,12	+23,30	106,47	199,22	-22,94	114,41	189,09	-2,67	113,02	191,09	-1,55	155,91	29
30	193,24	+23,45	106,44	204,52	-23,15	113,79	194,26	-2,86	112,59	196,55	-1,74	155,41	30
31	196,97	+23,78	106,00	209,78	-23,21	112,62	199,39	-3,02	111,74	202,04	-1,85	154,45	31



Nr.	Schwerpunkt von: Rumpf + Kopf			Schwerpunkt beider Arme			Schwerpunkt von: Rumpf + Kopf + beide Arme			Nr.
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	
1	34,19	-2,59	117,40	43,28	-0,89	108,69	36,07	-2,24	115,60	1
2	39,58	-2,25	118,38	47,35	-0,22	109,54	41,19	-1,83	116,55	2
3	44,91	-1,94	118,85	51,46	+0,40	110,07	46,27	-1,46	117,03	3
4	50,23	-1,58	118,81	55,64	+1,09	110,17	51,35	-1,03	117,02	4
5	55,57	-1,19	118,15	60,05	+1,82	109,68	56,50	-0,57	116,40	5
6	61,04	-0,77	117,03	64,90	+2,54	108,73	61,84	-0,08	115,31	6
7	66,57	-0,31	115,76	70,23	+3,22	107,53	67,33	+0,42	114,06	7
8	72,40	+0,25	114,75	76,21	+3,92	106,40	73,19	+1,01	113,02	8
9	78,49	+0,90	114,11	82,61	+4,62	105,59	79,34	+1,67	112,35	9
10	84,78	+1,63	114,09	89,44	+5,18	105,36	85,74	+2,36	112,28	10
11	90,97	+2,35	114,53	96,51	+5,63	105,77	92,12	+3,03	112,72	11
12	96,70	+2,82	115,42	103,48	+5,81	106,79	98,10	+3,44	113,63	12
13	102,20	+3,11	116,72	110,31	+5,74	108,32	103,88	+3,65	114,98	13
14	107,36	+3,23	118,05	116,83	+5,52	110,07	109,32	+3,70	116,40	14
15	112,50	+3,27	118,97	123,33	+5,17	111,54	114,74	+3,66	117,43	15
16	117,57	+3,22	119,18	129,43	+4,72	112,45	120,03	+3,53	117,79	16
17	122,74	+3,09	118,92	135,56	+4,26	112,75	125,39	+3,33	117,64	17
18	127,82	+2,93	117,99	141,54	+3,72	112,49	130,66	+3,09	116,85	18
19	133,13	+2,69	116,86	147,48	+3,16	111,90	136,10	+2,79	115,83	19
20	138,63	+2,24	115,69	153,24	+2,58	110,98	141,65	+2,31	114,72	20
21	144,50	+1,71	114,98	158,96	+2,04	110,01	147,49	+1,78	113,95	21
22	150,50	+0,94	114,66	164,45	+1,42	109,12	153,39	+1,04	113,51	22
23	156,53	+0,04	114,86	169,71	+0,90	108,51	159,26	+0,22	113,55	23
24	162,57	-0,79	115,38	174,66	+0,51	108,30	165,07	-0,52	113,91	24
25	168,24	-1,34	116,12	179,14	+0,20	108,35	170,48	-1,02	114,51	25
26	173,73	-1,75	117,22	183,24	+0,12	108,86	175,70	-1,36	115,49	26
27	179,07	-2,02	118,23	187,03	+0,17	109,55	180,72	-1,57	116,43	27
28	184,13	-2,29	119,03	190,71	+0,21	110,18	185,49	-1,77	117,20	28
29	189,37	-2,51	119,11	194,67	+0,18	110,44	190,47	-1,95	117,32	29
30	194,59	-2,70	118,67	198,88	+0,15	110,12	195,48	-2,11	116,90	30
31	199,77	-2,85	117,80	203,38	+0,29	109,31	200,52	-2,20	116,04	31

Nr.	Schwerpunkt des Oberschenkels						Schwerpunkt des Unterschenkels						Nr.
	rechts			links			rechts			links			
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	
1	31,50	+5,81	69,85	35,76	-11,62	68,75	21,07	+6,48	37,06	38,76	-9,48	31,69	1
2	38,56	+6,28	71,32	39,03	-11,20	69,17	32,63	+6,93	37,19	39,43	-9,19	31,74	2
3	45,30	+6,83	72,29	42,30	-10,77	69,30	44,26	+7,62	36,95	40,15	-8,84	31,75	3
4	51,56	+7,20	72,70	45,69	-10,37	69,23	55,41	+8,28	36,42	40,98	-8,49	31,71	4
5	57,07	+7,49	72,15	49,18	-9,98	68,81	65,72	+8,94	35,69	41,93	-8,22	31,63	5
6	62,27	+7,65	70,73	52,88	-9,67	68,15	74,96	+9,63	34,92	43,06	-7,89	31,57	6
7	67,44	+7,74	69,18	57,09	-9,35	67,37	82,65	+10,04	34,45	44,70	-7,67	31,40	7
8	73,91	+8,30	68,45	62,07	-9,10	66,74	89,66	+10,60	33,81	47,69	-7,84	31,38	8
9	81,06	+9,34	68,21	67,92	-8,92	66,42	95,88	+11,48	33,16	51,67	-8,22	32,14	9
10	86,86	+10,20	68,13	74,91	-8,54	66,16	99,83	+12,02	32,54	57,21	-8,44	32,78	10
11	93,60	+11,23	68,92	83,50	-8,34	65,90	104,24	+12,65	32,91	65,97	-8,90	33,55	11
12	99,18	+11,87	69,65	92,10	-7,64	65,78	107,36	+12,90	33,29	76,46	-8,49	34,57	12
13	102,97	+12,07	70,42	100,56	-7,02	66,91	108,23	+12,78	33,41	87,99	-7,55	35,58	13
14	106,06	+12,07	71,21	108,07	-6,94	68,59	108,54	+12,67	33,65	99,22	-6,96	36,45	14
15	109,34	+11,94	71,89	115,29	-6,93	70,07	109,11	+12,43	33,97	110,62	-6,61	36,70	15
16	112,92	+11,74	72,01	121,86	-6,99	70,94	110,14	+12,18	34,10	121,61	-6,59	36,41	16
17	116,59	+11,51	71,89	127,98	-7,21	71,13	111,18	+12,02	34,18	132,34	-6,94	35,75	17
18	120,05	+11,27	71,53	133,24	-7,33	70,51	112,16	+11,83	34,24	142,02	-7,42	34,81	18
19	124,16	+10,99	70,83	138,08	-7,32	69,01	113,85	+11,59	34,16	150,76	-7,92	33,78	19
20	128,65	+10,59	70,26	142,94	-7,28	67,47	116,01	+11,47	34,36	157,68	-8,41	32,96	20
21	133,87	+10,27	70,08	149,06	-7,75	66,71	119,03	+11,51	34,89	163,93	-8,68	32,17	21
22	140,06	+9,71	69,93	155,71	-8,66	66,75	123,32	+11,55	35,51	169,50	-9,18	31,72	22
23	147,05	+8,91	69,91	161,74	-9,98	67,13	129,22	+11,16	36,18	173,68	-10,05	31,29	23
24	155,03	+8,22	69,66	167,97	-11,02	67,72	137,42	+10,83	37,02	177,82	-10,76	31,84	24
25	163,20	+7,57	69,41	173,03	-11,66	68,31	147,37	+10,07	37,60	180,33	-11,03	32,04	25
26	171,30	+6,86	70,09	177,17	-11,96	68,87	158,48	+8,89	38,15	181,65	-10,98	32,15	26
27	178,56	+6,34	71,30	180,56	-12,02	69,37	169,30	+7,56	38,51	182,31	-10,92	32,25	27
28	185,25	+5,94	72,21	183,71	-12,01	69,68	179,88	+6,51	38,23	182,93	-10,78	32,38	28
29	191,75	+5,60	72,68	187,13	-12,03	69,68	190,80	+5,58	37,49	183,79	-10,63	32,46	29
30	197,72	+5,31	72,62	190,52	-12,04	69,38	201,52	+4,86	36,48	184,77	-10,52	32,44	30
31	203,16	+4,92	71,90	194,07	-12,09	68,85	211,78	+4,27	35,39	185,99	-10,46	32,36	31

Nr.	Schwerpunkt des Fusses						Schwerpunkt von: Unterschenkel + Fuss						Nr.
	rechts			links			rechts			links			
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	
1	4,70	+ 4,89	14,92	41,83	- 8,57	5,60	16,93	+ 6,08	31,46	39,54	- 9,25	25,09	1
2	20,51	+ 5,41	12,75	41,81	- 8,46	5,59	29,56	+ 6,55	31,01	40,03	- 9,01	25,12	2
3	37,60	+ 6,15	10,54	41,78	- 8,32	5,56	42,58	+ 7,25	30,22	40,56	- 8,71	25,12	3
4	55,06	+ 7,38	8,56	41,74	- 8,16	5,52	55,32	+ 8,05	29,37	41,17	- 8,41	25,08	4
5	72,54	+ 8,96	8,14	41,62	- 8,03	5,49	67,45	+ 8,95	28,72	41,85	- 8,17	25,02	5
6	88,73	+ 10,97	9,55	41,54	- 7,76	5,39	78,44	+ 9,97	28,50	42,68	- 7,86	24,95	6
7	101,14	+ 12,73	12,03	41,31	- 7,40	5,13	87,33	+ 10,72	28,78	43,84	- 7,60	24,75	7
8	107,76	+ 13,44	11,29	41,76	- 7,57	5,19	94,24	+ 11,32	28,11	46,19	- 7,77	24,75	8
9	110,76	+ 13,03	8,72	42,77	- 7,79	6,27	99,64	+ 11,87	26,98	49,42	- 8,11	25,59	9
10	113,19	+ 12,82	6,44	44,07	- 7,35	8,06	103,21	+ 12,22	25,94	53,89	- 8,16	26,53	10
11	113,75	+ 12,65	5,97	47,86	- 7,23	11,64	106,65	+ 12,65	26,09	61,39	- 8,48	28,01	11
12	113,75	+ 12,58	5,98	56,03	- 7,27	15,66	108,98	+ 12,82	26,38	71,29	- 8,18	29,79	12
13	113,75	+ 12,51	6,00	67,75	- 6,19	16,69	109,63	+ 12,71	26,48	82,87	- 7,21	30,80	13
14	113,75	+ 12,45	6,03	81,46	- 4,74	15,93	109,86	+ 12,61	26,66	94,73	- 6,40	31,26	14
15	113,77	+ 12,42	6,06	96,64	- 3,87	13,72	110,29	+ 12,43	26,91	107,08	- 5,92	30,89	15
16	113,77	+ 12,41	6,05	112,86	- 4,23	11,30	111,06	+ 12,24	27,00	119,40	- 5,99	30,06	16
17	113,77	+ 12,37	6,11	129,76	- 5,19	9,57	111,84	+ 12,11	27,08	131,69	- 6,50	29,13	17
18	113,78	+ 12,35	6,14	146,23	- 6,30	8,94	112,57	+ 11,96	27,13	143,09	- 7,14	28,26	18
19	113,79	+ 12,29	6,16	161,84	- 8,11	10,16	113,83	+ 11,77	27,08	153,56	- 7,97	27,80	19
20	114,07	+ 12,34	6,49	173,47	- 10,70	12,05	115,52	+ 11,69	27,31	161,67	- 8,99	27,67	20
21	114,65	+ 12,50	7,09	179,85	- 10,95	11,44	117,92	+ 11,76	27,86	167,96	- 9,25	26,93	21
22	115,69	+ 12,58	8,07	182,99	- 10,70	9,26	121,39	+ 11,81	28,57	172,91	- 9,56	26,04	22
23	117,64	+ 12,05	9,94	184,79	- 10,11	7,34	126,29	+ 11,39	29,54	176,49	- 10,07	25,23	23
24	121,62	+ 11,44	13,23	185,84	- 9,90	6,35	133,42	+ 10,98	31,00	179,85	- 10,54	25,39	24
25	129,39	+ 10,25	16,68	185,63	- 10,13	6,19	142,82	+ 10,12	32,31	181,67	- 10,80	25,50	25
26	140,65	+ 8,37	17,29	185,53	- 10,07	6,29	153,97	+ 8,76	32,87	182,63	- 10,75	25,61	26
27	154,02	+ 6,40	16,16	185,50	- 10,06	6,41	165,43	+ 7,27	32,86	183,12	- 10,70	25,71	27
28	168,19	+ 4,83	13,78	185,49	- 10,04	6,51	176,92	+ 6,08	32,04	183,58	- 10,59	25,83	28
29	184,18	+ 3,45	10,99	185,49	- 10,07	6,64	189,13	+ 5,04	30,79	184,22	- 10,49	25,93	29
30	201,05	+ 2,48	8,66	185,46	- 10,06	6,70	201,40	+ 4,26	29,44	184,94	- 10,40	25,93	30
31	218,22	+ 2,12	7,77	185,53	- 10,01	6,76	213,41	+ 3,73	28,40	185,87	- 10,35	25,88	31

Nr.	Schwerpunkt des ganzen Beins						Schwerpunkt beider Beine			Nr.
	rechts			links			Beine			
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	
1	25,98	+ 5,91	55,30	37,19	- 10,72	52,20	31,59	- 2,41	53,75	1
2	35,15	+ 6,38	56,04	39,41	- 10,37	52,48	37,28	- 2,00	54,26	2
3	44,27	+ 6,99	56,35	41,64	- 9,99	52,56	42,96	- 1,50	54,46	3
4	52,99	+ 7,52	56,28	43,98	- 9,63	52,50	48,49	- 1,06	54,39	4
5	61,00	+ 8,04	55,69	46,40	- 9,29	52,21	53,70	- 0,63	53,95	5
6	68,40	+ 8,53	54,72	49,01	- 8,98	51,78	58,71	- 0,23	53,25	6
7	74,98	+ 8,87	53,87	52,07	- 8,69	51,22	63,53	+ 0,09	52,55	7
8	81,62	+ 9,44	53,16	56,05	- 8,60	50,83	68,84	+ 0,42	52,00	8
9	88,10	+ 10,30	52,58	60,91	- 8,61	50,95	74,51	+ 0,85	51,77	9
10	93,06	+ 10,97	52,14	66,94	- 8,40	51,14	80,00	+ 1,29	51,64	10
11	98,55	+ 11,77	52,69	75,12	- 8,39	51,54	86,84	+ 1,69	52,12	11
12	102,89	+ 12,23	53,25	84,21	- 7,84	52,14	93,55	+ 2,20	52,70	12
13	105,49	+ 12,31	53,77	93,86	- 7,09	53,22	99,68	+ 2,61	53,50	13
14	107,50	+ 12,27	54,33	103,01	- 6,74	54,44	105,26	+ 2,77	54,39	14
15	109,70	+ 12,13	54,84	112,18	- 6,55	55,22	110,94	+ 2,79	55,03	15
16	112,22	+ 11,93	54,95	120,93	- 6,61	55,45	116,58	+ 2,66	55,20	16
17	114,79	+ 11,74	54,91	129,39	- 6,94	55,21	122,09	+ 2,40	55,06	17
18	117,22	+ 11,53	54,70	136,97	- 7,26	54,50	127,10	+ 2,14	54,60	18
19	120,24	+ 11,29	54,25	143,95	- 7,57	53,39	132,10	+ 1,86	53,82	19
20	123,67	+ 11,01	53,98	150,04	- 7,93	52,39	136,86	+ 1,54	53,19	20
21	127,82	+ 10,83	54,08	156,22	- 8,32	51,63	142,02	+ 1,26	52,86	21
22	132,98	+ 10,51	54,25	162,23	- 9,00	51,32	147,61	+ 0,76	52,79	22
23	139,18	+ 9,85	54,61	167,33	- 10,01	51,25	153,26	- 0,08	52,93	23
24	146,84	+ 9,27	55,01	172,47	- 10,84	51,68	159,66	- 0,79	53,35	24
25	155,48	+ 8,54	55,35	176,30	- 11,33	52,09	165,89	- 1,40	53,72	25
26	164,73	+ 7,58	55,98	179,24	- 11,50	52,47	171,99	- 1,96	54,23	26
27	173,58	+ 6,69	56,73	181,53	- 11,52	52,82	177,56	- 2,42	54,78	27
28	182,09	+ 5,99	56,99	183,66	- 11,47	53,06	182,88	- 2,74	55,03	28
29	190,76	+ 5,39	56,80	186,03	- 11,45	53,10	188,40	- 3,03	54,95	29
30	199,11	+ 4,91	56,25	188,41	- 11,42	52,91	193,76	- 3,26	54,58	30
31	207,04	+ 4,47	55,41	190,96	- 11,43	52,56	199,00	- 3,48	53,99	31

Tabelle 5. III. Versuch. Schwerpunktskoordinaten.

Nr.	Gesamtschwerpunkt des ganzen Körpers ohne Gepäck			Gesamtschwerpunkt des Gepäcks			Gesamtschwerpunkt des ganzen Körpers mit Gepäck			Nr.
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	
1	34,40	- 2,30	92,53	26,68	- 5,19	111,59	32,21	- 3,12	97,94	1
2	39,73	- 1,89	93,32	32,02	- 4,85	112,59	37,54	- 2,73	98,79	2
3	45,04	- 1,47	93,69	37,30	- 4,54	113,07	42,84	- 2,34	99,19	3
4	50,28	- 1,04	93,66	42,58	- 4,18	113,06	48,09	- 1,93	99,17	4
5	55,46	- 0,59	93,11	47,86	- 3,79	112,41	53,30	- 1,50	98,59	5
6	60,67	- 0,14	92,16	53,27	- 3,37	111,29	58,57	- 1,06	97,59	6
7	65,91	+ 0,30	91,12	58,79	- 2,92	110,02	63,89	- 0,61	96,49	7
8	71,57	+ 0,79	90,26	64,63	- 2,37	109,02	69,60	- 0,11	95,59	8
9	77,54	+ 1,36	89,75	70,76	- 1,70	108,39	75,61	+ 0,49	95,04	9
10	83,60	+ 1,96	89,66	77,14	- 0,94	108,36	81,77	+ 1,14	94,97	10
11	90,15	+ 2,53	90,12	83,42	- 0,17	108,78	88,24	+ 1,76	95,42	11
12	96,40	+ 2,98	90,90	89,20	+ 0,36	109,66	94,36	+ 2,24	96,23	12
13	102,31	+ 3,26	92,05	94,72	+ 0,68	110,95	100,15	+ 2,53	97,42	13
14	107,81	+ 3,35	93,27	99,86	+ 0,81	112,29	105,55	+ 2,63	98,67	14
15	113,32	+ 3,34	94,15	104,99	+ 0,85	113,24	110,95	+ 2,63	99,57	15
16	118,74	+ 3,21	94,44	110,05	+ 0,78	113,46	116,27	+ 2,52	99,84	16
17	124,16	+ 2,98	94,30	115,23	+ 0,63	113,22	121,62	+ 2,31	99,67	17
18	129,33	+ 2,74	93,63	120,29	+ 0,47	112,29	126,76	+ 2,10	98,93	18
19	134,61	+ 2,44	92,70	125,59	+ 0,23	111,16	132,05	+ 1,81	97,94	19
20	139,86	+ 2,02	91,77	131,11	- 0,24	109,98	137,37	+ 1,38	96,94	20
21	145,45	+ 1,59	91,16	137,02	- 0,78	109,28	143,06	+ 0,92	96,31	21
22	151,23	+ 0,94	90,86	143,08	- 1,57	108,96	148,92	+ 0,23	96,00	22
23	157,02	+ 0,11	90,94	149,18	- 2,51	109,16	154,79	- 0,63	96,11	23
24	163,05	- 0,62	91,32	155,28	- 3,38	109,67	160,84	- 1,40	96,53	24
25	168,77	- 1,16	91,84	161,00	- 3,95	110,38	166,56	- 1,95	97,11	25
26	174,32	- 1,58	92,64	166,51	- 4,37	111,45	172,10	- 2,37	97,98	26
27	179,54	- 1,89	93,43	171,83	- 4,65	112,46	177,35	- 2,67	98,83	27
28	184,52	- 2,13	94,01	176,89	- 4,94	113,27	182,35	- 2,93	99,48	28
29	189,70	- 2,35	94,06	182,12	- 5,18	113,35	187,55	- 3,15	99,54	29
30	194,84	- 2,54	93,65	187,29	- 5,37	112,92	192,70	- 3,34	99,12	30
31	199,95	- 2,68	92,90	192,42	- 5,53	112,07	197,81	- 3,49	98,34	31

Von einer Projection der einzelnen Schwerpunktsbahnen beim III. Versuch in derselben Weise, wie es für die beiden anderen Versuche auf Tafel III geschehen ist, wurde deshalb abgesehen, weil für den III. Versuch nicht auch die Projection des ganzen Bewegungsvorganges aus dem I. Theil dieser Untersuchung herübergenommen werden konnte. Die Mühe, welche für die Herstellung dieser Projection aufgewendet werden müsste, würde aber in keinem Verhältniss zu dem Nutzen derselben stehen. Die Unterschiede zwischen den Schwerpunktsbahnen beim Gehen des belasteten und beim Gehen des unbelasteten Menschen sind zu gering, als dass sie bei diesen Projectionen in $\frac{1}{10}$ natürlicher Grösse deutlich in die Augen springen könnten. Man würde daher im Grossen und Ganzen wieder dieselben Bilder bekommen wie auf Tafel III. Die charakteristischen Abweichungen von den normalen Gehbewegungen, welche durch die grosse Belastung hervorgerufen werden, treten erst zu Tage, wenn man die Bewegungen der ein-

zelen mechanisch wichtigen Punkte des menschlichen Körpers nach den verschiedenen Richtungen hin in ihrer natürlichen Ausdehnung genauer untersucht. Ferner wurde auch von einer kleinen Drehung des Coordinatensystems um die Z-Axe, welche die mittlere Fortschreitungsrichtung des Gesamtschwerpunktes mit der Richtung der X-Axe in genauere Uebereinstimmung bringen würde, Abstand genommen. Es hatte sich nämlich herausgestellt, dass die Bestimmung der mittleren Bewegungsrichtung des Schwerpunktes beim III. Versuch viel unsicherer war als bei den beiden anderen Versuchen, da das schwere Gepäck den Gehenden veranlasst hatte, während eines Doppelschrittes nicht unmerklich von der zuerst eingeschlagenen Gangrichtung abzuweichen. —

Wie der Ort eines Punktes im Raume durch die drei rechtwinkligen Coordinaten eindeutig bestimmt wird, so lässt sich auch die Bewegung eines Punktes im Raume in allen Einzelheiten vollständig erkennen, nachdem man die Projectionen dieser Bewegung auf drei zu einander senkrechte Richtungen des Raumes ermittelt hat. Durch die verschiedenen Coordinatentabellen sind die Projectionen der Bewegung aller Gelenkmittelpunkte und Schwerpunkte auf die Gangrichtung, die zur Gangebene senkrechte und die verticale Richtung festgestellt.

Zwischen der Bewegung der einzelnen Punkte in der Gangrichtung einerseits, und in den beiden anderen zur Gangrichtung senkrechten Richtungen andererseits besteht nun ein ganz principieller Unterschied.

In der zur Gangebene senkrechten Richtung (Richtung der y -Coordinaten), welche in Zukunft kurz als Seitenrichtung bezeichnet werden soll, und in verticaler Richtung (Richtung der z -Coordinaten) führen alle Punkte beim Gehen periodische Bewegungen aus. Die Dauer dieser Periode ist im Allgemeinen gleich der Dauer eines Doppelschrittes, in einzelnen Fällen gleich der eines einfachen Schrittes. So schwingt z. B. ein jeder Punkt in der Seitenrichtung um eine zur Gangebene parallele, seiner mittleren Lage entsprechende Verticalebene hin und her, indem er sich theils nach der einen Seite von ihr entfernt, wieder zurückkehrt, durch sie hindurchtritt, und nun auf der anderen Seite von ihr fortgeht, sich ihr wieder nähert, abermals durch sie hindurchtritt und nun sein Spiel von Neuem beginnt. Die in der Medianebene des menschlichen Körpers gelegenen Punkte, wie

unter anderen die Mitten der Hüftlinie und Schulterlinie, der Kopfscheitelpunkt, der Schwerpunkt und ebenso der Hauptpunkt des Rumpfes, der Gesamtschwerpunkt des Körpers, führen diese Bewegung symmetrisch zur Gangebene selbst aus. In ganz analoger Weise schwingen alle Punkte in verticaler Richtung um eine ihrer mittleren Lage entsprechende Horizontalebene hin und her. Wenn auch im Allgemeinen alle diese Schwingungsbewegungen in ihrem Verlaufe durchaus nicht von so einfacher Art sind, wie z. B. die Schwingungen eines Pendels, so haben sie doch mit den letzteren die Eigenschaft gemein, dass sie bei regelmässigem Gange des Individuums sich nach Ablauf eines Doppelschrittes genau wiederholen. Diese Wiederholung tritt für alle in der Medianebene des Körpers gelegenen Punkte, also z. B. für den Gesamtschwerpunkt des Körpers, bei der Schwingung in verticaler Richtung sogar schon nach Ablauf eines einfachen Schrittes ein.

Fasst man dagegen die Bewegung der einzelnen Punkte des Körpers in der Gangrichtung selbst in's Auge, so erkennt man leicht, dass von einer derartigen Schwingung relativ zu einer im Raume festen Ebene, welche hier zur Gangrichtung senkrecht stehen müsste, nicht die Rede sein kann. Alle Punkte schreiten in der Gangrichtung immer weiter fort. Nachdem sie einmal durch eine zur Gangrichtung senkrechte Ebene, welche im Folgenden der Einfachheit halber kurz als eine „Frontalebene des Raumes“ bezeichnet werden soll, hindurchgetreten sind, entfernen sie sich immer mehr von ihr, ohne jemals zu ihr zurückzukehren; sie durchschneiden vielmehr immer nach Ablauf eines Doppelschrittes eine parallele Frontalebene des Raumes, welche von der ersten um die doppelte Schrittlänge absteht. Würde man dagegen diese zur Gangrichtung senkrechte Ebene nicht im Raume festgestellt annehmen, sondern dieselbe in der Gangrichtung mit der mittleren Ganggeschwindigkeit des Körpers gleichförmig und parallel mit sich fortbewegt denken, so würde ein jeder Körperpunkt bei seiner Bewegung in der Gangrichtung nach Ablauf eines Doppelschrittes immer wieder dieselbe Lage zu dieser Frontalebene einnehmen. Bei geeigneter Wahl dieser in Bewegung gedachten Ebene würde dann in der Gangrichtung der Körperpunkt in ähnlicher Weise um dieselbe gleich weit nach vorn und hinten hin- und herschwingen, wie in den beiden anderen Richtungen um Ebenen, welche im Raume feststehen, so dass also auch in diesem Falle die Frontalebene der, allerdings

mit der Geschwindigkeit des Ganges gleichmässig im Raume fortschreitenden, Mittellage des Gesamtschwerpunktes entspricht.

Die mittlere Ganggeschwindigkeit, mit welcher die Frontalebene des Raumes fortbewegt werden müsste, lässt sich leicht berechnen, wenn man sowohl die Länge als auch die Dauer eines einfachen oder eines Doppelschrittes kennt. Von diesen beiden Grössen finden sich für die ersten beiden Versuche auf Seite 272 des I. Theils Näherungswerthe angegeben, welche aus den Projectionen des Bewegungsvorganges in $\frac{1}{10}$ natürlicher Grösse gewonnen worden sind. Zu etwas genaueren Werthen würde man gelangen, wenn man die Projectionen in natürlicher Grösse zu Grunde legen wollte. Immerhin liegt bei dieser Art der Bestimmung eine kleine Fehlerquelle darin, dass man die Grössen an der Bewegung eines einzelnen Körpertheils, etwa des Fusses, messen muss, und nicht die Bewegung des Körpers als Ganzes in Betracht ziehen kann. Es liegt aber im Begriff der mittleren Geschwindigkeit des Ganges, dass man von den Bewegungen der einzelnen Körpertheile absieht, und nur die Fortbewegung der ganzen Masse des Körpers in's Auge fasst, welche in der Bahn des Gesamtschwerpunktes ihren Ausdruck findet. Da nun für die weitere Untersuchung eine möglichst genaue Kenntniss des Werthes der mittleren Ganggeschwindigkeit erforderlich ist, so muss man für ihre Bestimmung die Bewegung des Gesamtschwerpunktes zu Grunde legen. Die Periodicität der Bewegung desselben, welche sowohl in seiner Bahn als auch in Diagrammen für die Abhängigkeit seiner Coordinaten von der Zeit zu erkennen ist, giebt ein ziemlich sicheres Mittel an die Hand, die Länge und Dauer eines Doppelschrittes zu bestimmen. Eine in dieser Richtung angestellte Untersuchung ergab für die drei Versuche folgende Resultate:

	I. Versuch	II. Versuch	III. Versuch
Länge eines Doppelschrittes:	155,75 cm,	153,60 cm,	143,80 cm,
Dauer eines Doppelschrittes:	0,990 sec,	0,970 sec,	0,9895 sec.

Dividirt man nun die Anzahl der Centimeter für die Länge durch die Anzahl der Secunden für die Dauer eines Doppelschrittes, so erhält man die Anzahl der Geschwindigkeitseinheiten (cm sec^{-1}) für die mittlere Ganggeschwindigkeit. Es ergiebt sich daher als

Mittlere Gang-	I. Versuch	II. Versuch	III. Versuch
geschwindigkeit:	$157,32 \text{ cmsec}^{-1}$,	$158,35 \text{ cmsec}^{-1}$,	$145,33 \text{ cmsec}^{-1}$.

Mit dieser Geschwindigkeit hätte sich also in jedem Falle die Frontalebene des Raumes fortzubewegen, um welche der Gesamtschwerpunkt periodische Schwingungen in der Gangrichtung ausführt. Um die relative Lage des Schwerpunktes zu dieser Ebene für jede der 31 Bewegungsphasen bestimmen zu können, muss man zunächst wissen, um welche Strecke die Ebene in dem Zeitintervall zweier aufeinanderfolgenden Bewegungsphasen in der Gangrichtung fortschreitet. Berücksichtigt man, dass auf eine Secunde 26,09 Bewegungsphasen bei allen drei Versuchen kommen (I. Theil, Seite 187), so hat man die Maasszahl der mittleren Geschwindigkeit nur durch diese Zahl zu dividiren, um die Anzahl der Centimeter zu erhalten, um welche die Ebene zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bewegungsphasen fortrückt. Dies ergibt beim I. Versuch einen Weg von 6,03 cm, beim II. Versuch einen solchen von 6,07 cm und beim III. Versuch einen Weg von 5,57 cm.

Zur Bestimmung des Ortes dieser Ebene in Bezug auf das im Raume feststehende Coordinatensystem für jede der 31 Bewegungsphasen muss man nun ausserdem ihre Stellung wenigstens für eine Bewegungsphase ermitteln. Da die Ebene bei ihrer Bewegung stets der *YZ*-Ebene des Coordinatensystems parallel bleibt, so ist ihre Lage im Raume bekannt, sobald man weiss, in welchem Abstände sie sich von der *YZ*-Ebene befindet, oder mit anderen Worten, welche Strecke sie auf der *X*-Axe des Coordinatensystems abschneidet. Diese Strecke bedeutet dann zugleich die *x*-Coordinate für alle ihre Punkte. Würde z. B. beim I. Versuch der Gesamtschwerpunkt gerade in der ersten Bewegungsphase durch die bewegliche Frontalebene hindurchtreten, so wäre nach Tabelle 1 die Lage der Ebene für die erste Bewegungsphase durch die Angabe $x = 39,55$ cm eindeutig bestimmt. In der zweiten Bewegungsphase würde die Ebene sich dann in dem Abstand $39,55$ cm + $6,03$ cm = $45,58$ cm, in der dritten Phase im Abstand $39,55$ cm + $2 \cdot 6,03$ cm = $51,61$ cm von der *YZ*-Ebene des Coordinatensystems befinden u. s. f. Ein Vergleich mit den in Tabelle 1 niedergelegten Werthen der *x*-Coordinate des Gesamtschwerpunktes würde dann ergeben, dass in der zweiten Bewegungsphase der Gesamtschwerpunkt sich in der Entfernung $45,50$ cm — $45,58$ cm = — $0,08$ cm, in der dritten Bewegungsphase dagegen in der Entfernung $51,45$ cm — $51,61$ cm = — $0,16$ cm von der beweglichen Ebene befinden würde, wobei das negative Vorzeichen darauf hindeutet, dass der

Gesamtschwerpunkt in der der Gangrichtung entgegengesetzten Richtung von der beweglichen Ebene absteht. Man wäre auf diese Weise in den Stand gesetzt, die relative Lage des Gesamtschwerpunktes zu der Ebene für jede Bewegungsphase zu ermitteln.

Nun wird allerdings die mittlere Frontalebene, um welche der Gesamtschwerpunkt beim Gehen gleich weit nach vorn und hinten hin- und herschwingt, nicht gerade in der ersten Bewegungsphase den Gesamtschwerpunkt selbst enthalten; dies wäre wenigstens grosser Zufall. Dieselbe wird vielmehr in der ersten Phase im Allgemeinen nach vorn oder hinten von dem Schwerpunkt abstehen. Um nun die genaue Lage der mittleren Ebene in der ersten Phase zu finden, kann man so verfahren, dass man zunächst einmal die relative Lage des Gesamtschwerpunktes zu einer beliebigen mit der mittleren Ganggeschwindigkeit fortbewegten Frontalebene für jede Bewegungsphase bestimmt. Man kann etwa hierzu gerade die Frontalebene des Raumes verwenden, welche in der ersten Phase durch den Gesamtschwerpunkt hindurchgeht. Dann wird der letztere zwar auch im Allgemeinen um diese Ebene hin- und herschwingen, aber er wird dabei auf der einen Seite sich weiter von ihr entfernen als auf der anderen. Hat man nun in der oben angedeuteten Weise die Bewegung des Gesamtschwerpunktes zu dieser willkürlich herausgegriffenen Ebene festgestellt, so lässt sich dann sehr leicht entscheiden, um welche Strecke die der Mittel-lage entsprechende Frontalebene von dieser in der einen oder anderen Richtung abweicht. Hierdurch ist man aber in den Stand gesetzt, die Lage der Mittelebene für jede der 31 Bewegungsphasen anzugeben. Auf diese Weise sind bei den drei Versuchen die in der umstehenden Tabelle 6 niedergelegten Abstände der bewegten mittleren Frontalebene von der YZ -Ebene für die 31 Bewegungsphasen gewonnen worden.

Die gleichen Abstände würde man auch erhalten, wenn das ursprüngliche Coordinatensystem beim I. und II. Versuch nicht um den kleinen, nur wenige Winkelminuten betragenden Winkel gedreht worden wäre; denn die x -Coordinaten haben sich ja bei dieser Drehung nicht geändert.

Man erhält nun für jede Bewegungsphase den Abstand des Gesamtschwerpunktes von der in Bewegung befindlichen, zur Gangrichtung senkrechten Mittelebene, indem man von seiner

x -Coordinate den entsprechenden, aus Tabelle 6 zu entnehmenden Abstand der Mittelebene von der YZ -Ebene abzieht. Die Resultate dieser Berechnung sind in der folgenden Tabelle 7 niedergelegt.

Abstände der in der Gangrichtung mit der mittleren Ganggeschwindigkeit fortbewegten mittleren Frontalebene des Raumes von der YZ -Ebene
(in Centimetern).

Tabelle 6.

Nr.	I. Versuch	II. Versuch	III. Versuch
1	39,25	44,25	31,88
2	45,28	50,32	37,45
3	51,31	56,39	43,02
4	57,34	62,46	48,59
5	63,37	68,53	54,16
6	69,40	74,60	59,73
7	75,43	80,67	65,30
8	81,46	86,74	70,87
9	87,49	92,81	76,44
10	93,52	98,88	82,01
11	99,55	104,95	87,58
12	105,58	111,02	93,15
13	111,61	117,09	98,72
14	117,64	123,16	104,29
15	123,67	129,23	109,86
16	129,70	135,30	115,43
17	135,73	141,37	121,00
18	141,76	147,44	126,57
19	147,79	153,51	132,14
20	153,82	159,58	137,71
21	159,85	165,65	143,28
22	165,88	171,72	148,85
23	171,91	177,79	154,42
24	177,94	183,86	159,99
25	183,97	189,93	165,56
26	190,00	196,00	171,13
27	196,03	202,07	176,70
28	202,06	208,14	182,27
29	208,09	214,21	187,84
30	214,12	220,28	193,41
31	220,15	226,35	198,98

Abstände des Gesamtschwerpunktes von der in der Gangrichtung sich bewegenden mittleren Frontalebene des Raumes (in Centimetern).

Tabelle 7.

Nr.	I. Versuch	II. Versuch	III. Versuch (Gesamtschwerpunkt des Körpers mit Gepäck)
1	+ 0,30	+ 0,64	+ 0,33
2	+ 0,22	+ 0,97	+ 0,09
3	+ 0,14	+ 1,04	- 0,18
4	- 0,13	+ 0,99	- 0,50
5	- 0,41	+ 0,53	- 0,86
6	- 0,75	+ 0,17	- 1,16
7	- 1,15	- 0,01	- 1,41
8	- 1,13	- 0,89	- 1,27
9	- 1,11	- 0,93	- 0,83
10	- 1,03	- 1,18	- 0,24
11	- 0,42	- 0,73	+ 0,66
12	+ 0,44	- 0,34	+ 1,21
13	+ 1,13	+ 0,45	+ 1,43
14	+ 1,09	+ 0,86	+ 1,26
15	+ 1,13	+ 1,18	+ 1,09
16	+ 0,43	+ 1,07	+ 0,84
17	+ 0,28	+ 0,79	+ 0,62
18	- 0,31	+ 0,50	+ 0,19
19	- 0,51	+ 0,33	- 0,09
20	- 0,82	+ 0,12	- 0,34
21	- 0,78	- 0,54	- 0,22
22	- 1,22	- 1,17	+ 0,07
23	- 1,07	- 0,78	+ 0,37
24	- 0,68	- 0,60	+ 0,85
25	- 0,31	- 0,17	+ 1,00
26	+ 0,55	+ 0,29	+ 0,97
27	+ 0,77	+ 0,90	+ 0,65
28	+ 1,15	+ 1,02	+ 0,08
29	+ 0,48	+ 0,91	- 0,29
30	+ 0,01	+ 0,54	- 0,71
31	- 0,68	+ 0,25	- 1,17

Diese Abstände können nun auch als eine besondere Art von Coordinaten aufgefasst werden. Denkt man sich nämlich das rechtwinklige Coordinatensystem, auf welches zuletzt der Gesamtschwerpunkt des menschlichen Körpers bei der Bewegung bezogen worden ist, nicht fest im Raume, sondern mit der mittleren Ganggeschwindigkeit in der Richtung des Ganges gleichmässig fortbewegt, so werden die in Tabelle 7 niedergelegten Abstände die zur Gangrichtung parallelen Coordinaten des Gesamtschwerpunktes in Bezug auf dieses bewegliche Coordinatensystem darstellen, falls man die zur Gangrichtung senkrechte Coordinatenebene von vornherein mit der oben eingeführten mittleren Frontalebene des Raumes zur Deckung gebracht hat. Trotz der Bewegung des ganzen Coordinatensystems werden die beiden anderen Coordinatenebenen bezüglich mit der Gangebene selbst und der Ebene des horizontalen Fussbodens in Deckung bleiben. Es werden daher die y -Coordinaten (bezüglich für die ersten beiden Versuche die in Tabelle 3 angegebenen y' -Coordinaten) und die z -Coordinaten in dem beweglichen Coordinatensystem dieselben Werthe besitzen wie in dem festen; denn die ersteren geben ja die Abstände der Punkte von der Gangebene, die letzteren die Abstände vom horizontalen Fussboden an. Nur die x -Coordinaten ändern sich und nehmen z. B. für den Gesamtschwerpunkt die Werthe der Tabelle 7 an. Zum Unterschied von den bisher verwendeten Coordinaten sollen diese in Zukunft als ξ -Coordinaten bezeichnet sein.

Man kann nun leicht alle anderen Punkte des menschlichen Körpers, deren Coordinaten bekannt sind, auf das neue bewegliche $\xi y z$ -Coordinatensystem beziehen. Man braucht nur zur Bestimmung der neuen ξ -Coordinaten, wie beim Gesamtschwerpunkt, die alten x -Coordinaten um die entsprechenden in Tabelle 6 niedergelegten Abstände zu vermindern.

Die Beziehung der Bewegung des Gesamtschwerpunktes auf das bewegliche $\xi y z$ -Coordinatensystem hat eine wichtige mechanische Bedeutung. Nachdem der menschliche Körper einmal in der Gangrichtung mit der mittleren Ganggeschwindigkeit in Bewegung gesetzt worden ist, würde er nach dem Gesetz der Trägheit diese Bewegung sowohl der Richtung als auch der Geschwindigkeit nach beibehalten, wenn gar keine äusseren Kräfte, also auch nicht die Schwere, auf ihn einwirkten. Er würde daher in Bezug auf das neue Coordinatensystem, welches genau die gleiche Be-

wegung besitzt, in Ruhe bleiben. Die Wirkung einer äusseren Kraft oder mehrerer äusserer Kräfte, welche sich nicht das Gleichgewicht halten, wird sich in Folge dessen in einer Bewegung des Körpers relativ zu diesem neuen Coordinatensystem äussern. Da das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist, die äusseren Kräfte zu bestimmen, welche beim Gange des menschlichen Körpers noch auf denselben einwirken, sobald er einmal seine mittlere Geschwindigkeit angenommen hat, so kann man für die weiteren Betrachtungen das neue Coordinatensystem zu Grunde legen. Man gewinnt dadurch den grossen Vortheil, dass man es nach allen Richtungen hin mit verhältnissmässig nur geringen Excursionen des Körpers zu thun hat, indem man die Bewegung ausgeschieden hat, welche, nachdem der Körper einmal im Gange ist, nicht mehr von äusseren Kräften abhängt.

Bei gleichmässigem Gange muss der Gesamtschwerpunkt des menschlichen Körpers relativ zu dem $\xi y z$ -Coordinatensystem eine geschlossene Raumcurve beschreiben, welche während eines Doppelschrittes gerade einmal durchlaufen wird. Diese Raumcurve ist bei vollkommen regelmässigem Gange zur Gangebene symmetrisch. Dagegen besitzt sie weder eine horizontale noch eine zur Gangrichtung senkrechte Symmetrieebene. Es lässt sich aber natürlich eine Horizontalebene finden, welche die Raumcurve in zwei gleich hohe Stücke zerlegt. Desgleichen kann man eine zur Gangrichtung senkrechte Ebene angeben, von welcher aus sich die Raumcurve ebenso weit nach vorn als nach hinten erstreckt. Diese beiden Ebenen bilden zusammen mit der Gangebene die schon früher eingeführten Mittelebenen für die periodische Bewegung des Gesamtschwerpunktes nach den drei verschiedenen Richtungen. Dieselben schneiden sich in einem Punkte, von dem aus die Raumcurve sich in jeder der drei Hauptrichtungen nach beiden Seiten gleich weit entfernt; er giebt daher die mittlere Lage des Gesamtschwerpunktes in dem beweglichen $\xi y z$ -Coordinatenraume an. Dieser Punkt soll im Folgenden kurz als „Kernpunkt der Bahn des Gesamtschwerpunktes“ bezeichnet sein. Indem der Gesamtschwerpunkt gleichzeitig nach den drei verschiedenen Richtungen um den Kernpunkt periodische Schwingungen ausführt, entsteht die geschlossene Raumcurve als Bahn.

Der Kernpunkt ist natürlich in dem $\xi y z$ -Coordinatensystem ein fester Punkt. Für die Darstellung der Bewegungen des Ge-

sammtscherpunktes in dem mit der mittleren Ganggeschwindigkeit fortbewegten Raume empfiehlt es sich sogar, ihn unter Beibehaltung der Richtungen der Coordinatenaxen zum Anfangspunkt des beweglichen Coordinatensystems zu machen, wie später noch ausführlich auseinandergesetzt wird. Auf das vorläufig eingeführte bewegliche ξyz -Coordinatensystem bezogen liegt der Kernpunkt beim I. und III. Versuch in der z -Axe. Beim II. Versuch weicht er dagegen, wie aus den späteren Betrachtungen hervorgeht, um 0,25 cm nach rechts von der ξZ -Coordinatenebene ab. Es fällt daher beim II. Versuch die letztere nicht ganz genau mit der Gangebene zusammen, sondern liegt nur parallel zu ihr auf der linken Seite in einem Abstand von 0,25 cm. Diese kleine Abweichung hat zum Theil, gerade so wie die Abweichung der ursprünglichen x -Axe des festen Coordinatensystems von der Gangrichtung, ihren Grund darin, dass man vor der Bestimmung der Coordinaten des Gesamtschwerpunktes die Gangebene und Gangrichtung nur aus der Bewegung bestimmter Gelenkmittelpunkte ableiten konnte; zum grösseren Theil ist sie aber dem Umstande zuzuschreiben, dass die oben erwähnte kleine Drehung des Coordinatensystems um die Z -Axe selbst, und nicht, wie es beim II. Versuch nothwendig gewesen wäre, um eine andere ihr parallele Gerade der XZ -Ebene ausgeführt worden ist. Vor der kleinen Drehung war eher eine Abweichung der XZ -Coordinatenebene von der Gangebene nach der anderen Seite zu constatiren. Endlich befindet sich der Kernpunkt, wie später noch ausführlich bewiesen wird, beim I. und II. Versuch übereinstimmend in einer Höhe von 91,45 cm über dem horizontalen Fussboden. Beim III. Versuch liegt er in Folge des Gepäcks um ca. 6 cm höher; seine Höhe über dem Fussboden beträgt 97,55 cm. Auch ohne das Gepäck liegt der Gesamtschwerpunkt des menschlichen Körpers beim III. Versuch ein wenig, etwa 0,5 cm höher als bei den beiden anderen Versuchen.

Während der Kernpunkt der Schwerpunktsbahn einen festen Punkt des beweglichen ξyz -Coordinatensystems darstellt, führt derselbe im Raume, d. h. im ruhenden xyz -Coordinatensystem, eine Bewegung aus, und zwar bewegt er sich mit der mittleren Ganggeschwindigkeit gleichförmig in der Richtung des Ganges fort. Der Kernpunkt besitzt natürlich ebenso wenig wie der Gesamtschwerpunkt während des Gehens einen bestimmten Ort im menschlichen Körper, sondern er wandert im Bauchraum hin und her.

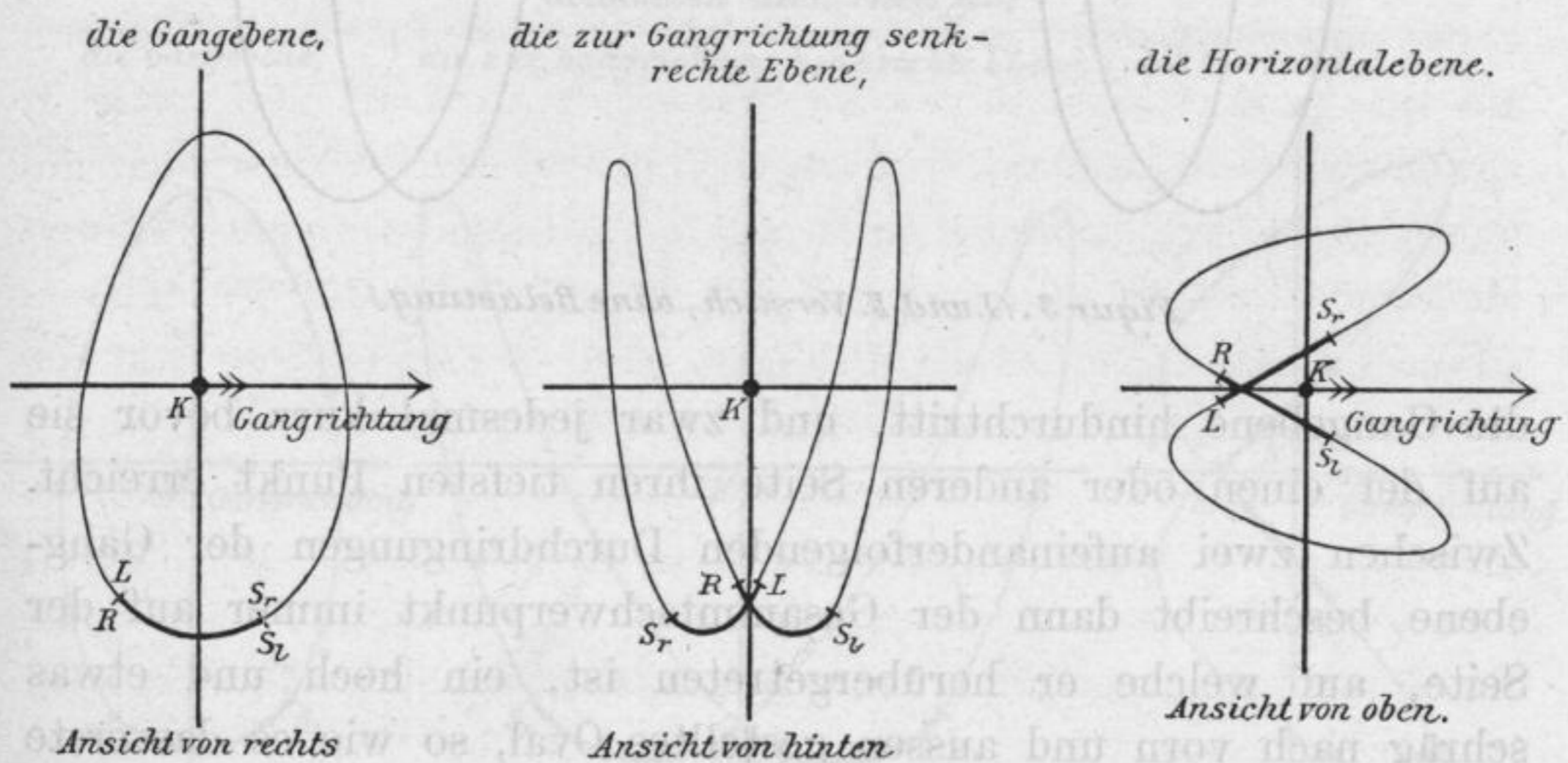
Die Gestalt der doppelt gekrümmten Bahn des Gesamtschwerpunktes im beweglichen Raume kann man sich leicht veranschaulichen, wenn man ihre Projectionen auf die drei Coordinatenebenen in's Auge fasst. Dieselben finden sich für die drei Versuche auf den Tafeln VIII, IX und X aufgezeichnet. Dabei ist, um die Ergebnisse der drei Versuche besser mit einander vergleichen zu können, in allen Fällen das oben schon ange-deütete, später einzuführende bewegliche Coordinatensystem verwendet worden, welches den Kernpunkt K der Schwerpunktsbahn als Anfangspunkt besitzt, im Uebrigen aber dem $\xi y z$ -Coordinatensystem genau gleichwerthig ist. Das erste Bild jeder Reihe stellt die Projection auf die Gangebene in der Ansicht von rechts, das zweite Bild die Projection auf die zur Gangrichtung senkrechte Ebene in der Ansicht von hinten und das dritte Bild die Projection auf die Horizontalebene in der Ansicht von oben, und zwar in natürlicher Grösse, dar. Die zu den beiden ersten Versuchen gehörenden Bilder, welche sich auf den Gang des unbelasteten Menschen beziehen, stimmen gut mit einander überein. Die kleinen Unregelmässigkeiten in der Projection auf die Gangebene und die Horizontalebene haben, wie sich später herausstellen wird, ihren Grund darin, dass die Schwankungen des menschlichen Körpers in der Gangrichtung sich zwar in ihrer Periode genau dem ganzen Bewegungsvorgang einreihen, in ihrer Ausdehnung aber mehr durch äussere Umstände beeinflusst werden als die Schwankungen in den beiden anderen zur Gangrichtung senkrechten Richtungen. Wie vorauszusehen war, kommt auch in der Bahn des Gesamtschwerpunktes, wie bei den im I. Theil mitgetheilten Bahncurven der Gelenkmittelpunkte, das unserem Versuchsindividuum eigenthümliche unsymmetrische Verhalten in dem Gebrauch der beiden unteren Extremitäten zum Ausdruck.

Aus den Bildern der Tafeln VIII und IX lässt sich nun ohne Weiteres erkennen, wie sich die Projectionen der Bahn des Gesamtschwerpunktes bei vollkommen gleichmässigem und symmetrischem Gange des unbelasteten Menschen gestalten würden. Man erhält für diesen Fall die nebenstehenden Bilder (Figur 2).

Vergleicht man das Mittelbild mit den Bildern der Figur 18 auf Seite 280 des I. Theils, so erkennt man, dass die Bahn des Gesamtschwerpunktes in ihrer Ansicht von hinten der Bahn des Kopfscheitelpunktes am ähnlichsten ist, während sie sehr erheblich

in ihrer Gestalt von der Bahn der Hüftlinienmitte, und noch mehr von der Bahn der Hüftgelenkmittelpunkte abweicht. Dies ist um so mehr zu beachten, als man oft die Bewegung des Gesamtschwerpunktes mit der Bewegung der Hüftlinienmitte oder eines Punktes des Kreuzbeins identificirt findet. Gleichzeitig folgt aus dieser Abweichung, dass der Gesamtschwerpunkt während des Gehens sehr starke Ortsänderungen innerhalb des menschlichen Körpers erleidet. Wenn nun auch die Bahn des Gesamtschwerpunktes in ihrer Projection auf die zur Gangrichtung senkrechte Ebene der Bahn des Kopfscheitelpunktes sehr ähnlich ist, so ist sie doch viel weniger ausgedehnt als diese; sie ist um mehr als

Projection der relativen Schwerpunktsbahn des unbelasteten Menschen auf



Figur 2 (natürliche Grösse).

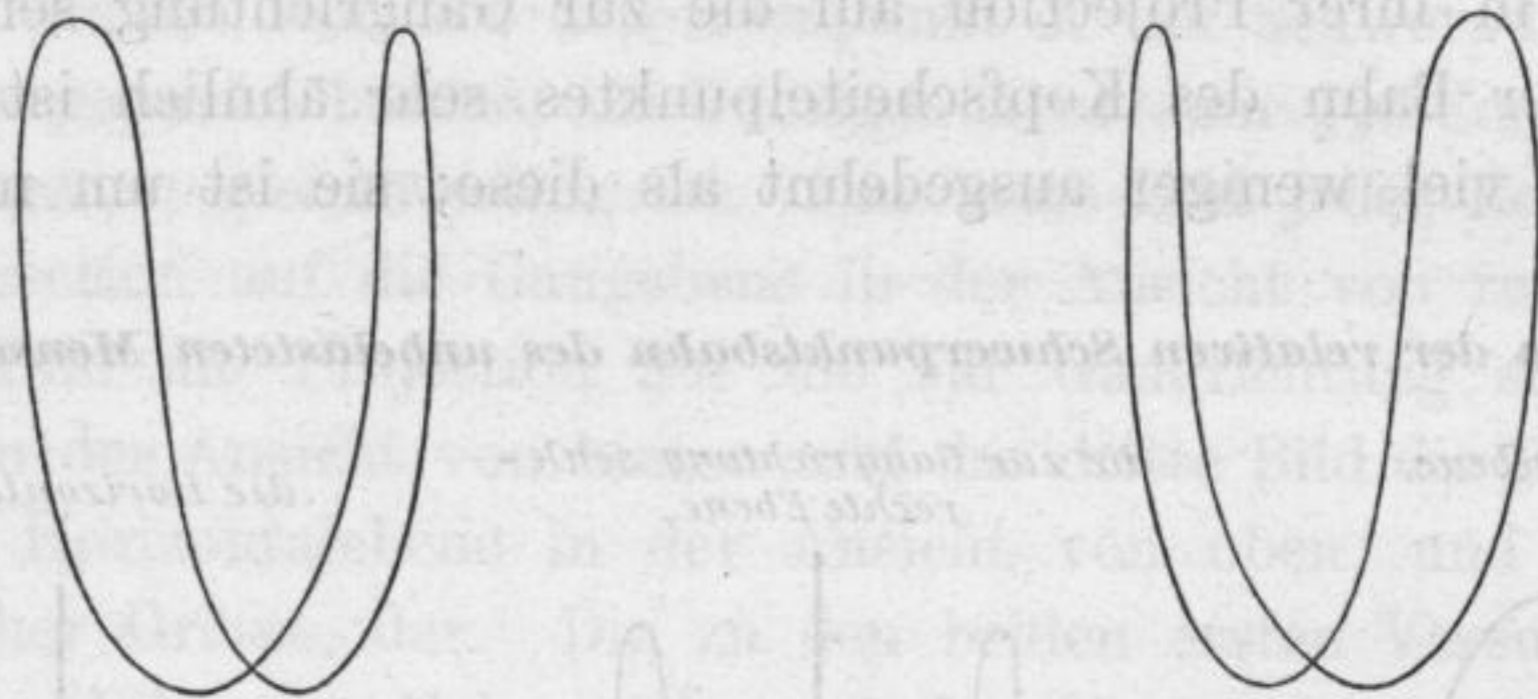
1 cm niedriger und beinahe um 1 cm schmaler. Es ergibt sich bei näherer Untersuchung überhaupt ganz allgemein, dass der Gesamtschwerpunkt in dem mit der mittleren Ganggeschwindigkeit fortbewegten Raume in jeder Richtung kleinere Excursionen ausführt als irgend ein Punkt des menschlichen Körpers.

Von den drei Projectionen in Figur 2 werden die zweite und dritte während eines Doppelschrittes gerade einmal, dagegen die erste in derselben Zeit zweimal durchlaufen.

Wenn es nun auch nicht schwer ist, sich aus den drei Projectionen eine deutliche Vorstellung des Verlaufes der doppelt gekrümmten Bahn des Gesamtschwerpunktes zu machen, so kann man jedoch mit Hülfe des durch Figur 3 dargestellten stereoskopischen

Doppelbildes zu einer unmittelbaren Anschauung dieser Raumcurve gelangen. Ist es gelungen, die beiden Bilder entweder bei directer Beobachtung mit unbewaffneten Augen oder im Stereoskop zur Vereinigung zu bringen, so hat man die Curve plastisch vor sich, wie sie sich in der Ansicht von hinten darstellt. Man erkennt dann ohne Weiteres, dass sie zweimal an derselben Stelle durch

*Stereoskopische Bilder der relativen Schwerpunktsbahn
des unbelasteten Menschen.*



Figur 3. (I. und II. Versuch, ohne Belastung.)

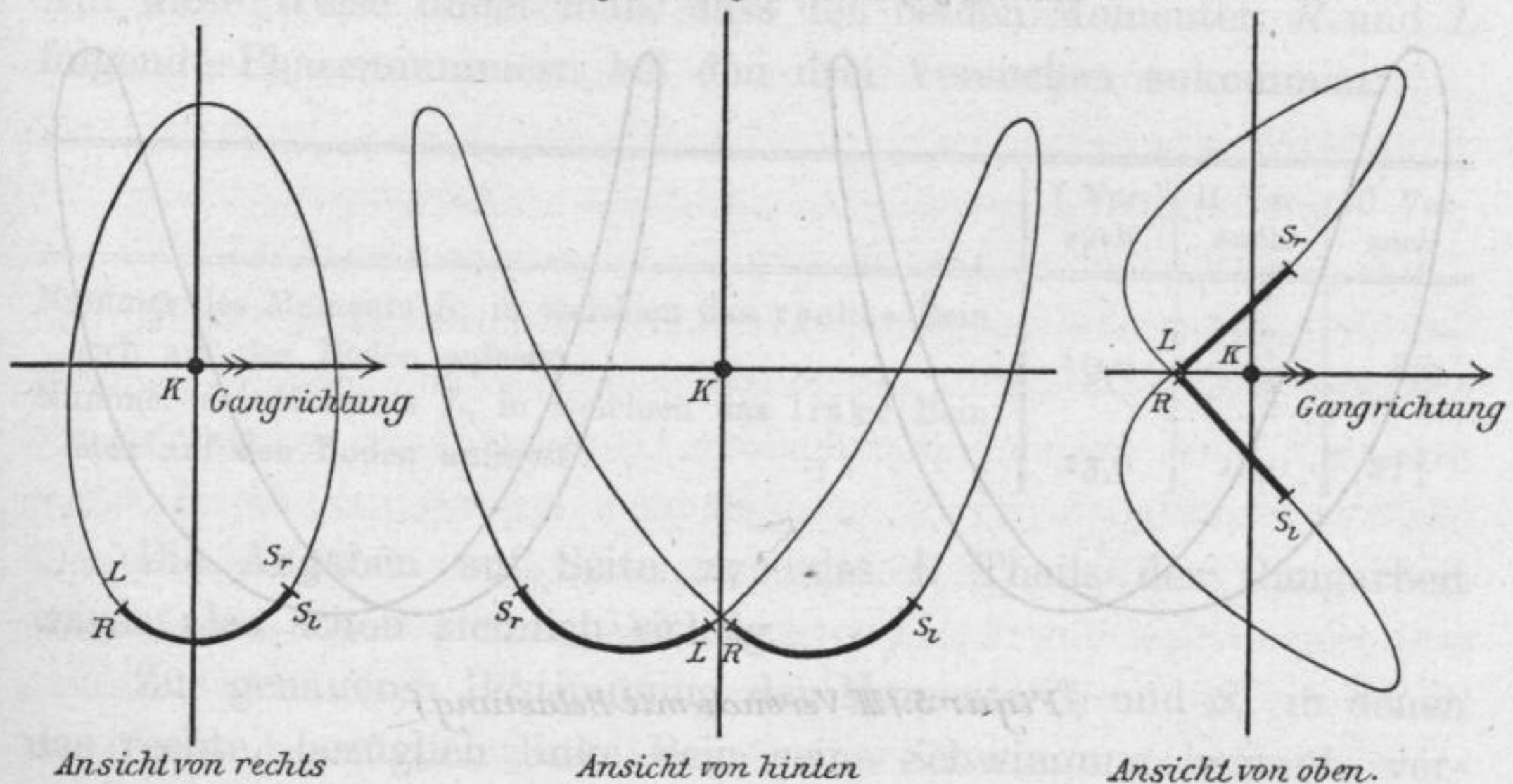
die Gangebene hindurchtritt, und zwar jedesmal kurz bevor sie auf der einen oder anderen Seite ihren tiefsten Punkt erreicht. Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchdringungen der Gangebene beschreibt dann der Gesamtschwerpunkt immer auf der Seite, auf welche er herübergetreten ist, ein hoch und etwas schräg nach vorn und aussen gestelltes Oval, so wie es das erste Bild der Figur 2 veranschaulicht.

Die drei zum III. Versuch gehörenden Projectionen der Bahn des Gesamtschwerpunktes auf Tafel X lassen erkennen, dass die Excursionen des Schwerpunktes beim Gang des belasteten Menschen grösser sind als beim Gehen ohne Belastung. Denn wenn auch, von einigen Unregelmässigkeiten und Unsymmetrien abgesehen, die Projectionen auf Tafel X im Grossen und Ganzen dieselbe Form zeigen, wie die entsprechenden auf den Tafeln VIII und IX, so springt doch sehr ihre grössere Breite und Höhe in die Augen. Während das zweite und dritte Bild auf den beiden früheren Tafeln geschlossene Curven darstellen, was durch die oben erwähnte kleine Drehung des Coordinatensystems um die z -Axe erreicht worden ist, sind die Bilder auf Tafel X nicht vollkommen geschlossen. Dies hätte sich in dem vorliegenden Falle auch

nicht durch geeignete Drehung des ursprünglichen Coordinatensystems erreichen lassen, weil, wie schon oben erwähnt, unser Versuchsindividuum in Folge des schweren Militärgepäcks im Verlauf des für die Untersuchung herausgegriffenen Doppelschrittes seine Gangrichtung nicht streng beibehalten hatte. Endlich ist in den zum III. Versuch gehörenden Projectionen noch mehr als in den anderen der Einfluss des asymmetrischen Verhaltens beider Beine wahrzunehmen. Sieht man von allen diesen Unregelmässigkeiten ab, so erhält man für den vollkommen gleichmässigen Gang mit Belastung durch das Militärgepäck folgende Typen für die drei Projectionen der Bahn des Gesamtschwerpunktes:

Projection der relativen Schwerpunktsbahn des durch das Militärgepäck belasteten Menschen auf

die Gangebene, die zur Gangrichtung senkrechte Ebene, die Horizontalebene.



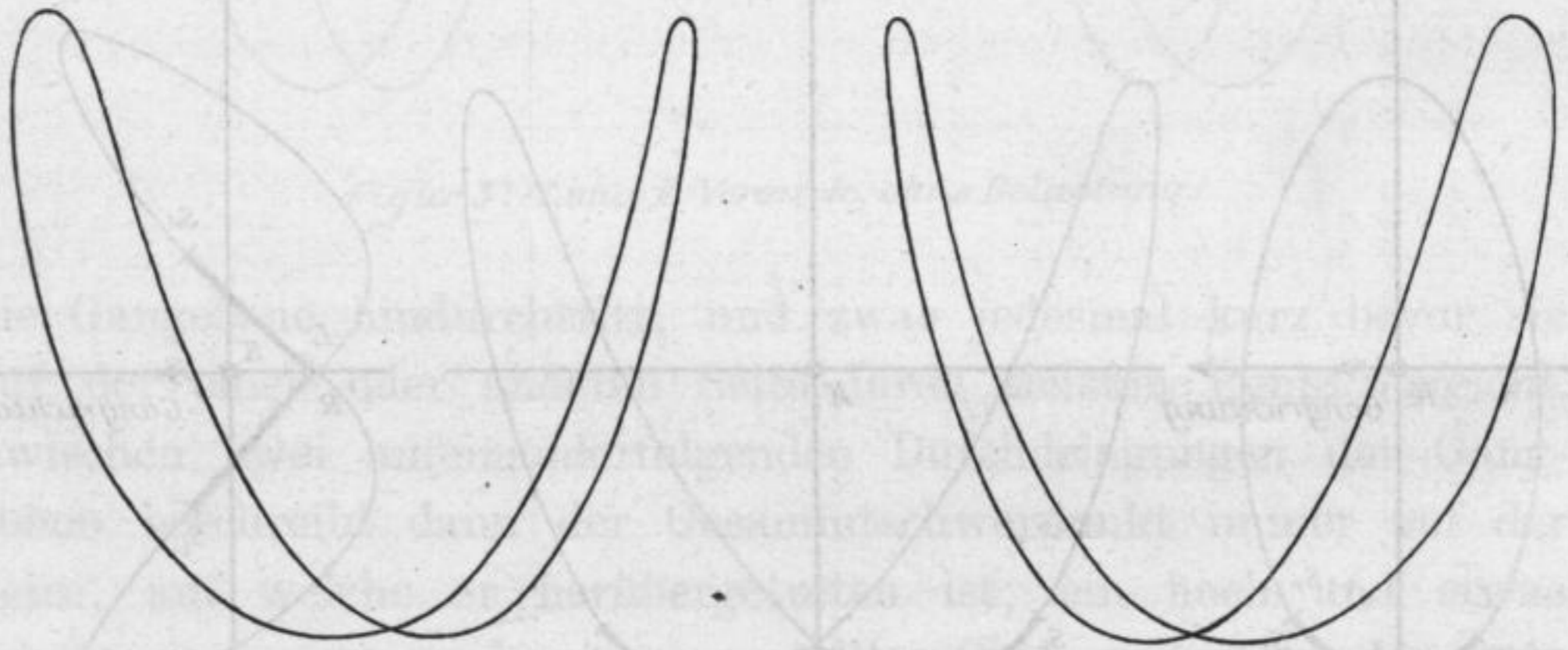
Figur 4 (natürliche Grösse).

Dabei ist wieder zu beachten, dass die erste Projection zweimal, die beiden anderen dagegen nur einmal während eines Doppelschrittes durchlaufen werden. Abgesehen von der Vergrößerung der Dimensionen ist der Verlauf der Raumcurve für den III. Versuch genau entsprechend dem für die beiden ersten Versuche. Dies bestätigt ein Vergleich der Figur 4 mit der früheren Figur 2.

Man kann sich auch hier wieder eine unmittelbare Anschauung von der Gestalt der doppelt gekrümmten Schwerpunktsbahn mit Hilfe eines stereoskopischen Doppelbildes verschaffen, so wie es durch umstehende Figur 5 dargestellt ist.

Für das Verständniss der Entstehung, sowie überhaupt der Bedeutung der durch die Figuren 2 bis 5 dargestellten Bahn des Gesamtschwerpunktes ist es nun noch nöthig, festzustellen, in welcher Beziehung die Bewegung des Schwerpunktes auf seiner doppelt gekrümmten Curve zu dem ganzen Bewegungsvorgang steht. Man muss wissen, an welcher Stelle seiner Bahn sich der Gesamtschwerpunkt im Moment des Aufsetzens eines Beins befindet, welches Curvenstück er während der Periode des Aufstützens beider Beine, und welches er während der Schwingung eines Beins durchläuft u. s. w. Um dies entscheiden zu können, muss man zunächst die Momente so genau wie möglich feststellen, in denen ein Bein sich auf den Boden aufsetzt, in denen ein Bein

Stereoskopische Bilder der relativen Schwerpunktsbahn des durch das Militärgepäck belasteten Menschen.



Figur 5. (III. Versuch mit Belastung.)

seine Schwingung beginnt u. s. w. Im I. Theil finden sich auf Seite 272 für den I. und II. Versuch die Bewegungsphasen angegeben, denen alle diese Momente am nächsten stehen; hierdurch sind die letzteren bis auf einen Fehler von abgerundet 0,02 sec bestimmt, da zwei aufeinanderfolgende Bewegungsphasen um 0,038 sec auseinander liegen. Die Genauigkeit dieser Bestimmung lässt sich nun aber bedeutend weiter treiben, fast auf das Zehnfache erhöhen, so dass der Fehler nicht viel mehr als 0,002 sec beträgt.

Um z. B. die Momente R und L , in denen das rechte bezüglich linke Bein sich gerade auf den Boden aufsetzt, möglichst genau zu bestimmen, kann man folgender Maassen verfahren. Man zeichnet sich in natürlicher Grösse für jede Extremität die

Projection des Mittelpunktes vom I. Fussgelenk auf die Gangebene in einer Anzahl von Phasen auf, welche kurz vor und kurz nach dem zu bestimmenden Moment des Aufsetzens eines Beins liegen. Man kann dann sehr wohl das Curvenstück der Bahn des I. Fussgelenkmittelpunktes, welches vor dem Aufsetzen liegt, von dem auf das Aufsetzen folgenden unterscheiden. Das letztere ist nämlich nahezu ein Kreisbogen, dessen Mittelpunkt in die zuerst aufgesetzte hintere Kante des Stiefelabsatzes fällt. Beide Curvenstücke gehen nun nicht stetig in einander über, sondern schneiden sich unter einem Winkel. Der Schnittpunkt entspricht dem Moment des Aufsetzens. Es lässt sich leicht bis etwa auf $\frac{1}{10}$ die Nummer abschätzen, welche diesem Moment zukommen würde, indem man sich zwischen zwei aufeinanderfolgende der vorhandenen Bewegungsphasen noch andere zu gleichen Zeitintervallen gehörende Phasen eingeschaltet denkt. Auf diese Weise findet man, dass den beiden Momenten *R* und *L* folgende Phasennummern bei den drei Versuchen zukommen:

	I. Ver- such	II. Ver- such	III. Ver- such
Nummer des Moments <i>R</i> , in welchem das rechte Bein sich auf den Boden aufsetzt	10,0	11 $\frac{1}{3}$	8,9
Nummer des Moments <i>L</i> , in welchem das linke Bein sich auf den Boden aufsetzt	23,0	24,0	21 $\frac{3}{4}$

Die Angaben auf Seite 272 des I. Theils der Gangarbeit waren also schon ziemlich richtig.

Zur genaueren Bestimmung der Momente *S_r* und *S_l*, in denen das rechte, bezüglich linke Bein seine Schwingung beginnt, verwendet man zweckmässiger Weise den früher als Fussspitze bezeichneten Punkt der Fusslängsaxe. An der Curve desselben markirt sich der Moment, in welchem das Bein sich vom Fussboden ganz ablöst, besser als an der Bahn des Fussgelenkmittelpunktes, da der letztere noch während des Abwickelns des Fusses vom Boden in deutlicher Vorwärtsbewegung begriffen ist, während der als Fussspitze bezeichnete Punkt gleichzeitig nur geringe Ortsänderung erfährt. Es ist daher das Curvenstück der Bahn der Fussspitze, welches vor dem Anfang der Schwingung liegt, wiederum deutlich zu unterscheiden von dem darauffolgenden im ersten Stadium der Schwingung. Jenes fällt nach unten und vorn ab, und die zu den aufeinanderfolgenden Phasen gehörenden Punkte

der Curve befinden sich dicht neben einander, dieses steigt nach oben und vorn an, und die Curvenpunkte liegen gleich zu Anfang viel weiter aus einander. Demnach schneiden sich die beiden Curvenstücke unter einem Winkel, dessen Scheitelpunkt den Beginn der Schwingung anzeigt.

Mit Ausnahme der linken Extremität beim III. Versuch, für welche die Curve der Fussspitze nicht ermittelt worden ist, liessen sich auf diesem Wege für beide Beine die Momente sehr genau feststellen, in denen die Schwingung beginnt. Gleichzeitig brachte diese Untersuchung einen kleinen Fehler an's Tageslicht, der in der Tabelle 10 des I. Theils untergelaufen war. Die z -Coordinate der linken Fussspitze ist dort für die Bewegungsphase Nr. 12 zweifellos etwas zu gross angegeben; denn das vor dem Scheitelpunkt des Winkels liegende Stück erwies sich als zu klein und das folgende als zu flach im Vergleich zu dem Verlauf der entsprechenden Curve beim II. Versuch und den zu den rechten Extremitäten gehörenden Curven. Beides ändert sich, und es stellt sich vollkommene Uebereinstimmung ein, wenn statt 3,78 cm die um 3 mm kleinere Länge von 3,48 cm eingesetzt wird. Bei der im Uebrigen stattfindenden grossen Uebereinstimmung beider Versuche ist diese Correctur nicht willkürlich, sondern geradezu nothwendig. Auf welche Weise diese Ungenauigkeit entstanden ist, lässt sich natürlich jetzt nicht mehr leicht constatiren. Es ist ebenso gut möglich, dass bei der Uebertragung der betreffenden Tabelle aus der 4 eine 7 geworden ist, als dass sich vorher bei der Berechnung ein Fehler eingeschlichen hat. Unter Berücksichtigung dieser Verbesserung der z -Coordinate erhält man für die Momente S_r und S_l bei den drei Versuchen folgende Phasennummern:

	I. Versuch	II. Versuch	III. Versuch
Nummer des Moments S_r , in welchem das rechte Bein seine Schwingung beginnt.	25,0	26,0	23,9
Nummer des Moments S_l , in welchem das linke Bein seine Schwingung beginnt.	12,1	13 $\frac{1}{3}$	—

Beachtet man, dass beim III. Versuch der Nummerunterschied zwischen dem Moment des Aufsetzens des linken Beins und des Ablösens des rechten Beins vom Fussboden abgerundet 2,1 beträgt, und dass bei den beiden ersten Versuchen diese

Differenzen fast genau mit den Nummerunterschieden der Momente R und S_i übereinstimmen, so kann man ohne Kenntniss der Curve der linken Fussspitze mit ziemlicher Genauigkeit als Nummer von S_i für den III. Versuch 11,0 angeben.

Nachdem ein Bein sich auf den Fussboden aufgesetzt hat, dreht der Fuss sich zunächst um die Hacke, bis er mit der ganzen Sohle auf dem Boden aufsteht, dann verweilt er einige Zeit in dieser Stellung und dreht sich zuletzt, bevor das Bein seine Schwingung beginnt, um eine allmählich immer weiter nach vorn wandernde Stelle des Fussballens. Es sind daher ausser den Momenten des Aufsetzens und Ablösens eines Beins noch für den ganzen Bewegungsvorgang die Momente von Wichtigkeit, welche den Zeitraum begrenzen, innerhalb dessen der Fuss mit der ganzen Sohle auf dem Boden aufsteht. Die Bestimmung dieser Momente lässt sich auf ganz ähnliche Weise wie die der bisher betrachteten mit Hülfe der in natürlicher Grösse aufgezeichneten Projectionen der Bahnen des Fussgelenkmittelpunktes und der Fussspitze auf die Gangebene bewirken.

Bezeichnet man den Anfang dieses Zeitraums mit A_r oder A_l und das Ende mit E_r oder E_l , je nachdem es sich um die rechte oder linke untere Extremität handelt, so erhält man folgende Nummern der zugehörigen Bewegungsphasen:

	I. Versuch	II. Versuch	III. Versuch
A_r	13,0	$14\frac{1}{3}$	$11\frac{1}{2}$
E_r	20,0	21,0	19,0
A_l	25,9	27,0	$24\frac{1}{2}$
E_l	7,0	$8\frac{1}{2}$	6,0

Mit Hülfe dieser Angaben ist man nun in der Lage, die einzelnen für den Bewegungsvorgang wichtigen Momente an der Bahn des Gesamtschwerpunktes zu markiren, so wie es in den Bildern auf den Tafeln VIII, IX und X geschehen ist.

Da bei dem vorliegenden Theil der Untersuchung nicht allein die Curve betrachtet werden soll, welche der Gesamtschwerpunkt beim Gehen beschreibt, sondern auch der Ablauf der Bewegung in der Zeit berücksichtigt werden soll, so weit er durch Geschwindigkeit und Beschleunigung der Bewegung charakterisirt ist, so macht es sich noch nöthig, die Zeit einzuführen, welche

von einem bestimmten Moment an bis zu den einzelnen Bewegungsphasen verflossen ist. Rechnet man bei jedem der drei Versuche die Zeit vom Moment der ersten Bewegungsphase an und beachtet, dass auf jede Secunde 26,09 Schwingungen der die einzelnen Phasen herausgreifenden Unterbrechungsstimmgabel kommen, so wird bis zur zweiten Bewegungsphase die Zeit von $\frac{1}{26,09}$ sec, und allgemein bis zur n^{ten} Bewegungsphase eine Zeit von $\frac{n-1}{26,09}$ sec verflossen sein (vgl. Seite 187 des I. Theils). Es kommen in Folge dessen den einzelnen Bewegungsphasen folgende Zeiten zu:

Tabelle 8.

Nummer der Bewegungsphase	Zeit in sec.	Nummer der Bewegungsphase	Zeit in sec.	Nummer der Bewegungsphase	Zeit in sec.	Nummer der Bewegungsphase	Zeit in sec.
1	0,000	9	0,307	17	0,613	25	0,920
2	0,038	10	0,345	18	0,652	26	0,958
3	0,077	11	0,383	19	0,690	27	0,997
4	0,115	12	0,422	20	0,728	28	1,035
5	0,153	13	0,460	21	0,767	29	1,073
6	0,192	14	0,498	22	0,805	30	1,112
7	0,230	15	0,537	23	0,843	31	1,150
8	0,268	16	0,575	24	0,882		

Durch Interpolation kann man leicht aus dieser Tabelle 8 die zu jeder Zwischenphase gehörende Zeit ableiten. Man erhält dann für die einzelnen in Betracht gezogenen Momente die in die folgende Tabelle 9 der Reihe nach eingeordneten Zeitangaben:

Tabelle 9.

Bezeichnung des Momentes	I. Versuch		II. Versuch		III. Versuch	
	Phasennummer	Zeit in sec.	Phasennummer	Zeit in sec.	Phasennummer	Zeit in sec.
E_t	7,0	0,230	$8\frac{1}{2}$	0,287	6,0	0,192
R	10,0	0,345	$11\frac{1}{3}$	0,396	8,9	0,303
S_t	12,1	0,426	$13\frac{1}{3}$	0,473	11,0	0,383
A_r	13,0	0,460	$14\frac{1}{3}$	0,511	$11\frac{1}{2}$	0,402
E_r	20,0	0,728	21,0	0,767	19,0	0,690
L	23,0	0,843	24,0	0,882	$21\frac{3}{4}$	0,796
S_r	25,0	0,920	26,0	0,958	23,9	0,878
A_t	25,9	0,955	27,0	0,997	$24\frac{1}{2}$	0,901

Aus dieser Tabelle kann man nun ohne Weiteres die Dauer wichtiger Abschnitte der Bewegung der unteren Extremitäten ablesen. So erkennt man, dass zwischen dem Moment des Aufsetzens des rechten Beins und dem darauf folgenden Moment des Aufsetzens des linken Beins bei den drei Versuchen bezüglich eine Zeit von 0,498 sec; 0,486 sec und 0,493 sec verstreicht. Ferner ergibt sich, dass das rechte Bein bei den drei Versuchen bezüglich 0,494 sec; 0,485 sec und 0,495 sec später als das linke seine Schwingung beginnt. Bei absolut gleichmässigem Gange müssten diese beiden Zeiten für jeden Versuch gleich gross ausfallen und mit der einfachen Schrittdauer übereinstimmen, welche nach dem Früheren (vgl. Seite 67) für die drei Versuche bezüglich 0,495 sec; 0,485 sec und 0,4948 sec beträgt. Wenn nun auch keine vollkommene Uebereinstimmung vorhanden ist, so sieht man doch, dass selbst bei asymmetrischem Verhalten beider Beine, wie es unserem Individuum eigenthümlich ist, die Unterschiede zwischen diesen drei zu demselben Versuche gehörenden Zeiten nur sehr gering sind; sie betragen im höchsten Falle beim I. Versuch $\frac{4}{1000}$ Secunden, bleiben aber bei den anderen Versuchen noch unter dieser kleinen Zeitgrösse. Würde man ohne Kenntniss der Bahn des Gesamtschwerpunktes das arithmetische Mittel der beiden ersten Zeitangaben als einfache Schrittdauer auffassen, so würde man im höchsten Falle nur einen Fehler von $\frac{1}{1000}$ Secunde begehen. So gross kann aber schon an und für sich der Fehler bei der Ermittlung der Schrittdauer mit Hülfe der Schwerpunktsbahn gewesen sein. Es befinden sich daher die beiden ganz von einander unabhängigen Bestimmungen der einfachen Schrittdauer in Anbetracht der überhaupt bei unseren Versuchen erreichten Genauigkeit in vollständiger Uebereinstimmung und controliren sich gegenseitig. Man hat daher die Sicherheit, dass auch die übrigen aus Tabelle 9 abzuleitenden Zeitdauern bis auf ungefähr $\frac{1}{1000}$ Secunde genau sind, so dass also die Angabe bis auf drei Decimalstellen ihre volle Berechtigung hat.

Durch Subtraction der Zeiten von S_r und R erhält man die Dauer des Aufstützens des rechten Beins; auch die Dauer des Aufstützens des linken Beins kann man aus Tabelle 9 ableiten, indem man zuerst die in der Tabelle angegebene Zeit für S_l um die doppelte Schrittdauer vermehrt und dann um die Zeit von L vermindert. Die Dauer der Drehung des aufgesetzten Fusses um

die Hacke ist die Zeit zwischen R und A_r , bezüglich L und A_l . Die zwischen A_r und E_r liegende Zeit gibt die Dauer des Aufstehens des rechten Fusses mit der ganzen Sohle an; auch für den linken Fuss kann man diese Zeit bestimmen, nachdem man vorher die Zeit von E_l um die doppelte Schrittdauer vermehrt hat. Die Zeitstrecken $E_r S_r$ bezüglich $E_l S_l$ geben die Zeit an, während welcher der Fuss sich um eine allmählich nach vorn rückende Stelle des Fussballens dreht. Die zwischen S_l und L liegende Zeit ist gleich der Schwingungsdauer des linken Beins; die Schwingungsdauer des rechten Beins erhält man, indem man die in Tabelle 9 angegebene Zeit für R zunächst wieder um die doppelte Schrittdauer vermehrt und davon die Zeit von S_r abzieht. Endlich erhält man in den Zeitstrecken RS_l und LS_r die Dauer des gleichzeitigen Aufstehens beider Beine auf dem Boden. In der folgenden Tabelle finden sich alle auf diese Weise berechneten Zeitdauern und die schon früher angegebenen Schrittdauern zusammengestellt.

Tabelle 10.

	I. Versuch		II. Versuch		III. Versuch	
	Zeit in sec.	Arithm. Mittel	Zeit in sec.	Arithm. Mittel	Zeit in sec.	Arithm. Mittel
Dauer eines Doppelschrittes . .	0,990		0,970		0,9895	
Dauer eines einfachen Schrittes .	0,495		0,485		0,4948	
Aufstehen eines Beins auf dem Fussboden . . .	rechts 0,575	0,574	rechts 0,562	0,5615	rechts 0,575	0,5758
	links 0,573		links 0,561		links 0,5765	
Drehen des aufgesetzten Fusses um die Hacke . . .	rechts 0,115	0,1135	rechts 0,115	0,115	rechts 0,099	0,102
	links 0,112		links 0,115		links 0,105	
Aufstehen eines Beins mit der ganzen Fusssohle . . .	rechts 0,268	0,2665	rechts 0,256	0,258	rechts 0,288	0,2843
	links 0,265		links 0,260		links 0,2805	
Drehen des aufgesetzten Fusses um den Ballen . . .	rechts 0,192	0,194	rechts 0,191	0,1885	rechts 0,188	0,1895
	links 0,196		links 0,186		links 0,191	
Schwingen eines Beins . . .	rechts 0,415	0,416	rechts 0,408	0,4085	rechts 0,4145	0,4138
	links 0,417		links 0,409		links 0,413	
Aufstehen beider Beine auf dem Fussboden . . .	RS_l 0,081	0,079	RS_l 0,077	0,0765	RS_l 0,080	0,081
	LS_r 0,077		LS_r 0,076		LS_r 0,082	

Die Angaben dieser Tabelle sind im Gegensatz zu denen von Tabelle 9 ganz unabhängig von der Wahl des Nullpunktes für die Zeit; sie besitzen daher absolute Gültigkeit.

III. Die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen des Gesamtschwerpunktes.

Wenn man die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, mit denen ein Punkt seine Bewegung ausführt, ableiten will, so muss man das Gesetz kennen, nach welchem die im Raume von dem Punkte in den verschiedenen Richtungen zurückgelegten Wegstrecken von der Zeit abhängen. Hat man, wie im vorliegenden Falle, die Bahn des Punktes auf ein rechtwinkliges räumliches Coordinatensystem bezogen, so handelt es sich demnach darum, die drei Coordinaten des bewegten Punktes in ihrer Abhängigkeit von der Zeit darzustellen. In manchen Fällen, besonders wenn die Bedingungen für die Bewegung genau bekannt sind, gelingt es, Formeln aufzufinden, welche die Beziehungen zwischen den drei Coordinaten einerseits und der von einem bestimmten Moment an verflossenen Zeit andererseits mathematisch präcisiren. Es läuft dann die Bestimmung der Geschwindigkeiten und Beschleunigungen auf die rein mathematische Aufgabe wiederholter Differentiation bestimmter Ausdrücke hinaus. Das Gesetz der Bewegung des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers beim Gehen ist nun viel zu complicirt, als dass es sich in verhältnissmässig einfachen Formeln ausdrücken liess. Das Gleiche gilt wohl im Allgemeinen für alle Bewegungen von Organismen. Alle mathematischen Formeln werden nur mit gewisser Annäherung die wirkliche Bewegung treffen. Daher werden auch die aus ihnen auf dem Wege der Differentiation abgeleiteten Geschwindigkeiten, und in noch stärkerem Maasse die Beschleunigungen, so ungenau sein, dass sie unmöglich zu einer richtigen Vorstellung von dem gesetzmässigen Verlauf der Bewegung und den dabei thätigen Kräften führen können.

Man muss in Folge dessen in der physiologischen Mechanik einen anderen Weg zur Ableitung der Geschwindigkeiten und Be-

schleunigungen einschlagen, welcher eine Genauigkeit zu erzielen gestattet, die zur Genauigkeit der empirischen Bestimmung der Bewegungsbahn in keinem Missverhältniss steht. Dieser Weg ist rein geometrischer Natur. Man geht nämlich von Diagrammen aus, welche in der schon früher beschriebenen Weise die Abhängigkeit der Coordinaten des Gesamtschwerpunktes von der Zeit darstellen. Diese Diagramme, welche in der Mechanik den Namen „Wegcurven“ führen, lassen sich bei einer genügenden Anzahl directer Coordinatenbestimmungen mit grosser Genauigkeit aufzeichnen und sind überhaupt ein viel treffenderer Ausdruck für das Bewegungsgesetz als irgend eine Näherungsformel.

Die Wegcurven des Gesamtschwerpunktes, welche nicht mit der Bahncurve desselben zu verwechseln sind, haben als Ordinaten die Werthe der Coordinaten des Gesamtschwerpunktes und als Abscissen der Zeit proportionale Strecken, wobei die Zeit vom Moment der ersten Bewegungsphase an gemessen werden soll. Mit Rücksicht auf die erzielte Genauigkeit ist es zweckmässig, 1 Secunde durch die Länge von 1 Decimeter darzustellen; dann entspricht z. B. einem jeden Centimeter der Abscisse eine Zeitdauer von 0,1 Secunde und einem Millimeter die von 0,01 Secunde. Man kann nun nicht zu jedem Millimeter der Abscisse die zugehörige Ordinate aufzeichnen; dies würde nur dann möglich sein, wenn die durch die Momentphotographie fixirten Bewegungsphasen in dem kurzen Zeitraume von 0,01 Secunde auf einander folgten. Da in jeder Secunde nicht 100, sondern nur 26,09 Phasen abgebildet worden sind, so kann man nur für die Abscissen die Ordinaten angeben, deren Längen durch die Zahlen der Tabelle 8 auf Seite 82 in Decimetern ausgedrückt sind. Die 31 Punkte, welche man auf diese Weise von jeder Wegcurve gewinnen kann, genügen nun vollständig, um die ganze Wegcurve in ihrem Verlauf aufzeichnen zu können. Man hat hierbei nur zu beachten, dass es in der Natur der Sache liegt, dass dieser Verlauf ein gleichmässiger und stetiger ist; denn Buckel und directe Unstetigkeiten könnten nur dann auftreten, wenn der menschliche Körper beim Gehen der Einwirkung heftiger Stösse unterworfen wäre. Daraus folgt aber weiter, dass man an den Curven nicht nur grobe Fehler der Coordinatenbestimmung auf den ersten Blick erkennen würde, sondern dass man sogar in vielen Fällen in der Lage ist, die Wegcurven mit grösserer Genauigkeit aufzuzeichnen

als selbst die einzelnen auf empirischem Wege gewonnenen Punkte derselben, so dass man also unter Umständen rückwärts mit Hülfe der Wegcurven die Coordinaten noch etwas verbessern kann.

Ein Blick auf die obersten Figurenreihen der Tafeln V, VI und VII bestätigt diese Thatsache. Es finden sich daselbst die zu den drei Coordinaten des Gesamtschwerpunktes gehörenden Wegcurven für alle drei Versuche in der beschriebenen Weise aufgezeichnet. Die zur z -Coordinate gehörenden Wegcurven (Figuren am weitsten rechts), welche die Bewegung des Gesamtschwerpunktes in verticaler Richtung veranschaulichen, sind vollkommen genau durch die in der Figur mit angegebenen empirisch gefundenen Punkte bestimmt; es lag fast an keiner Stelle Veranlassung vor, das Diagramm im Interesse der Stetigkeit auch nur um einen Millimeter an den vorher in das Millimeternetz eingetragenen Punkten vorüberzuziehen. Auch die zu der y -Coordinate gehörenden Wegcurven (mittlere Figuren), welche die Bewegung des Gesamtschwerpunktes in der Seitenrichtung graphisch darstellen, mussten nur an wenig Stellen etwas an den direct bestimmten Punkten vorbeigehen, um nicht kleine, in Wirklichkeit sicher nicht vorhandene Buckelchen aufzuweisen. Dagegen erforderten die zur Bewegung des Gesamtschwerpunktes in der Gangrichtung relativ zum beweglichen Coordinatenraume gehörenden Wegcurven (Figuren am weitsten links) an vielen Stellen ein nicht unbeträchtliches Abweichen von den empirisch gefundenen Punkten. Man erkennt ohne Weiteres, dass die Curven, welche diese Punkte streng mit einander verbinden, viel zu viel Unebenheiten aufweisen würden, als dass sie einen genauen Ausdruck für das Gesetz der Bewegung in der Gangrichtung abgeben könnten. Denn, würden die Buckel Berechtigung haben, so müssten sie sich zunächst an derselben Figur periodisch wiederholen, und ausserdem müssten sie nothwendiger Weise bei den beiden ersten, unter vollkommen gleichen Bedingungen angestellten Versuchen in übereinstimmender Weise auftreten. Beides ist nicht der Fall. Zieht man dagegen für jeden Versuch unabhängig von dem anderen eine stetig und ohne Buckel verlaufende Curve, welche sich möglichst eng den vorhandenen Punkten anschliesst, so stellt sich nicht nur periodische Wiederholung bei jeder der beiden Curven ein, sondern es tritt auch eine ganz überraschende Uebereinstimmung beider zu Tage. Man kann daher mit grosser Annäherung diese Curven

als den wahren Ausdruck für das betreffende Bewegungsgesetz auffassen.

Mit Hilfe der Wegcurven kann man sich nun leicht eine deutliche Anschauung von dem ganzen Verlauf der Bewegung des Gesamtschwerpunktes in der Richtung der betreffenden Coordinate machen. Man braucht sich zu diesem Zwecke nur vorzustellen, dass ein Punkt die Wegcurve in der Weise durchläuft, dass seine Projection auf die horizontale Abscissenaxe oder, wenn man will, sein senkrecht auf diese Axe geworfener Schatten dabei mit constanter Geschwindigkeit in jeder Secunde um 1 dm fortschreitet, dann wird seine Projection auf die verticale Ordinatenaxe, oder sein senkrecht auf diese Axe oder eine zu ihr parallele Gerade geworfener Schatten, sowohl der Geschwindigkeit als auch der Beschleunigung nach genau die Bewegung des Gesamtschwerpunktes in der Richtung der betreffenden Coordinate ausführen. Daraus geht aber hervor, dass eine Wegcurve thatsächlich das ganze Bewegungsgesetz für die in Frage kommende Richtung zum Ausdruck bringt. Es müssen sich daher auch in ihrem Verlauf alle Einzelheiten des Bewegungsvorganges ausprägen, und es muss gelingen, nicht nur die Geschwindigkeiten, sondern auch die Beschleunigungen des bewegten Punktes aus der Form der Wegcurve abzuleiten.

Was zunächst die Geschwindigkeiten anlangt, so finden dieselben ihren Ausdruck in der im Allgemeinen fortwährend wechselnden Richtung der Wegcurve; die Geschwindigkeit ist nämlich für jeden Moment proportional der trigonometrischen Tangente des Winkels, welchen die Tangente an den entsprechenden Punkt der Wegcurve mit der Abscissenaxe bildet. Da bei den Wegcurven auf den Tafeln V, VI und VII 1 Secunde durch die Länge von 1 Decimeter dargestellt ist, so würde die trigonometrische Tangente dieses Winkels direct die Maasszahl der Geschwindigkeit angeben, wenn man als Einheit der Geschwindigkeit diejenige auffassen wollte, bei welcher im Falle gleichförmiger Bewegung der bewegte Punkt in 1 Secunde gerade einen Weg von 1 Decimeter zurücklegt. Da im Verlaufe der vorliegenden Untersuchung durchweg die Längen in Centimetern ausgedrückt worden sind, so empfiehlt es sich indessen, als Geschwindigkeitseinheit diejenige einzuführen, welche einem Weg von 1 Centimeter pro Secunde entspricht; es ist in der Mechanik gebräuchlich, dies durch die

Benennung cm sec^{-1} zum Ausdruck zu bringen. Dann muss man aber alle trigonometrischen Tangenten, die zu den einzelnen Punkten der 9 Wegcurven gehören, noch mit dem Factor 10 multipliciren.

Praktisch lässt sich die Bestimmung der auf die Einheit cm sec^{-1} bezogenen Geschwindigkeit an den Wegcurven im vorliegenden Falle für jeden Moment so ausführen, dass man an den betreffenden Punkt der Wegcurve die Tangente construirt und dann dieselbe unter Beibehaltung ihrer Richtung zu der Hypotenuse eines rechtwinkligen Dreiecks mit horizontaler und verticaler Kathete macht, dessen horizontale Kathete die Länge von 1 dm besitzt. Die Anzahl der Centimeter für die Länge der verticalen Kathete gibt direct die Anzahl der Geschwindigkeitseinheiten an. Diese Art der Messung der Geschwindigkeit ist dadurch sehr vereinfacht, dass man die Wegcurve in ein Millimemeternetz eingezeichnet hat. Nach der Construction der Tangente, welche sehr sorgfältig ausgeführt werden muss, läuft die Messung dann nur noch auf ein Abzählen von Centimetern hinaus. Man zählt von einem beliebigen Punkte der Tangente aus zuerst 10 cm in horizontaler Richtung auf dem Millimemeternetz ab und bestimmt darauf die Anzahl der Centimeter, welche zwischen dem Endpunkt dieser horizontalen Strecke und dem in verticaler Richtung darüber oder darunter befindlichen Punkte der Tangente liegen. Natürlich muss man für diesen Zweck die Wegcurve auf ein genügend ausge dehntes und ausserdem sehr genau construirtes Millimemeternetz aufgezeichnet haben.

In dieser Weise sind für eine genügende Anzahl von Punkten der 9 Wegcurven die Geschwindigkeiten ermittelt worden. Die Resultate dieser Messungen kann man wieder in sehr anschaulicher Weise durch Diagramme darstellen, welche ganz ähnlich wie die Wegcurven construirt sind. Die Abscissen dieser Diagramme geben die seit dem Moment der ersten Bewegungsphase verflossene Zeit an, in der Weise, dass, wie bei den Wegcurven, jedem Millimeter ein Zeitintervall von 0,01 Secunde entspricht. Die zugehörigen Ordinaten sind den Geschwindigkeiten proportional. Wollte man dabei die Einheit der Geschwindigkeit durch 1 cm darstellen, so würden die Diagramme in verticaler Richtung eine unverhältnissmässig grosse Ausdehnung erhalten und daher wenig übersichtlich werden. Es empfiehlt sich daher, die Einheit cm sec^{-1} der Geschwindigkeit durch eine Länge von 1 mm wiederzugeben.

Dies entspricht auch mehr der Genauigkeit, welche man bei der Bestimmung der Geschwindigkeit im vorliegenden Falle überhaupt erreichen kann. Derartige Diagramme, welche die Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Zeit graphisch darstellen, nennt man „Geschwindigkeitscurven“.

Auf den Tafeln V, VI und VII finden sich entsprechend den Bewegungen in den drei Hauptrichtungen für jeden der drei Versuche die Geschwindigkeitscurven unter den zugehörigen Wegcurven aufgezeichnet. Man erkennt ohne Mühe, dass zwischen den beiden unter einander stehenden Curven in jedem Falle sehr enge Beziehungen bestehen. Die Geschwindigkeitscurve durchkreuzt immer in demselben Momente die Abscissenaxe, in welchem die zugehörige Wegcurve ein Maximum oder ein Minimum besitzt. Dies hat darin seinen Grund, dass in jedem Maximum oder Minimum die Tangente an die Wegcurve der Abscissenaxe parallel läuft; sie bildet dann mit derselben einen Winkel von 0° , für welchen die trigonometrische Tangente den Werth 0 besitzt. Damit stimmt auch die Thatsache überein, dass die Geschwindigkeit immer in demselben Momente Null ist, in welchem die Richtung der Bewegung sich umkehrt; denn eine solche Umkehrung der Bewegungsrichtung prägt sich an der Wegcurve als Maximum oder Minimum aus. Ferner besitzt eine jede Geschwindigkeitscurve immer dann selbst ein Maximum oder Minimum, wenn die zugehörige Wegcurve aus einer nach unten convexen Krümmung in concave Krümmung übergeht, oder umgekehrt. Ein solcher Punkt der Wegcurve, den man „Wendepunkt“ nennt, ist nämlich dadurch charakterisirt, dass die Tangente, welche beim Durchlaufen der Wegcurve kurz vor dem Wendepunkte ihre Richtung gegen die Abscissenaxe so änderte, dass sie sich in einem bestimmten Sinne zu drehen schien, im Wendepunkte gerade ihren Drehungssinn umkehrt. Wurden vorher die Winkel mit der Abscissenaxe immer grösser, so nehmen sie nun nach dem Durchschreiten des Wendepunktes fortwährend ab, und umgekehrt. Da die trigonometrischen Tangenten gleichzeitig mit den Winkeln an Grösse zunehmen und abnehmen, so wird demnach die Geschwindigkeit in jedem, einem Wendepunkt der Wegcurve entsprechenden Momente entweder einen relativ grössten oder kleinsten Werth besitzen.

Man kann also aus der Gestalt einer Wegcurve auf den ersten

Blick erkennen, wann die Geschwindigkeit des Gesamtschwerpunktes in der betreffenden Richtung durch den Werth o hindurchgeht und infolgedessen die Bewegung ihre Richtung ändert, und in welchem Momente die Geschwindigkeit in der einen oder anderen Richtung relativ am grössten ist. Da diese Momente von ganz besonderer Bedeutung für die Bewegung des Gesamtschwerpunktes sind, so empfiehlt es sich, bei der Bestimmung der Geschwindigkeitscurve zuerst sein Augenmerk auf diese Stellen der Wegcurve zu richten und die zugehörigen Abscissen, und bei den Wendepunkten ausserdem die Richtungen der Tangenten, so genau wie nur irgend möglich zu messen. Damit hat man einige wesentliche Punkte der Geschwindigkeitscurve festgelegt, durch welche schon im Grossen und Ganzen der Verlauf derselben charakterisirt ist. Dann erst geht man zur genaueren Ermittlung von zwischen diesen Momenten liegenden Werthen der Geschwindigkeit über. Wie viel derartige Messungen man ausführen muss, um den genauen Verlauf der Geschwindigkeitscurve festzustellen, das richtet sich ganz nach der Gestalt der Wegcurve. Ist dieselbe so regelmässig wie bei der Bewegung des Gesamtschwerpunktes in der verticalen Richtung, so braucht man weniger Bestimmungen auszuführen als für die Bewegung in den beiden anderen Hauptrichtungen. Die meisten Messungen erforderte im vorliegenden Falle die Bewegung in der Seitenrichtung. Jedenfalls ist es zweckmässig, sich hierbei gar nicht mehr an die ursprünglich bei den Versuchen festgelegten Bewegungsphasen zu halten; denn es liegt ja ein Hauptvorthail der graphischen Darstellung gerade darin, dass man für jeden beliebigen Moment den zugehörigen Werth der Geschwindigkeit erhält, gleichgültig, ob dieser Moment vorher beim Versuch durch die Photographie festgelegt war oder nicht.

Für die Bestimmung der Beschleunigung, welche der Gesamtschwerpunkt bei seiner Bewegung in einer der drei mit den Richtungen der Coordinatenaxen übereinstimmenden Hauptrichtungen in jedem Moment besitzt, geht man zweckmässiger Weise von den Geschwindigkeitscurven aus. Es lassen sich zwar einige charakteristische Werthe der Beschleunigung auch ohne Weiteres direct aus den Wegcurven erkennen, im Allgemeinen kommt man aber bei Verwendung der Geschwindigkeitscurven viel schneller zum Ziele. Dies ist dem Umstande zu danken, dass die Beschleunigungen in derselben Beziehung zu den Geschwindigkeiten

stehen, wie die letzteren zu den Werthen der Coordinaten selbst. Wie die Geschwindigkeiten ein Maass für das Wachsthum der Coordinaten abgeben, so können die Beschleunigungen als Maass für das Wachsthum der Geschwindigkeiten aufgefasst werden. Stellt man sich vor, dass ein Punkt die Geschwindigkeitscurve in der Weise durchläuft, dass dabei seine Projection auf die horizontale Abscissenaxe mit constanter Geschwindigkeit in jeder Secunde um 1 dm fortschreitet, so wird seine Projection auf die verticale Ordinatenaxe eine Bewegung ausführen, deren Geschwindigkeit in jedem Moment genau die Beschleunigung des Gesamtschwerpunktes in der Richtung der betreffenden Coordinate angibt. Daraus geht aber hervor, dass die Beschleunigung ihren Ausdruck in der im Allgemeinen fortwährend wechselnden Richtung der Geschwindigkeitscurve finden muss. Wie die Geschwindigkeit durch die trigonometrische Tangente des Winkels zwischen der Tangente an die Wegcurve und der Abscissenaxe gemessen wurde, so ist die Beschleunigung für jeden Moment proportional der trigonometrischen Tangente des Winkels, welchen die Tangente an den entsprechenden Punkt der Geschwindigkeitscurve mit der Abscissenaxe bildet. Da bei den Geschwindigkeitscurven auf den Tafeln V, VI und VII 1 Secunde durch die Länge von 1 Decimeter, die Geschwindigkeitseinheit cm sec^{-1} dagegen durch die Länge von 1 Millimeter dargestellt ist, so wird die erwähnte trigonometrische Tangente immer nur den hundertsten Theil der Beschleunigung angeben, wenn man consequenter Weise als Einheit der Beschleunigung diejenige auffasst, bei welcher im Falle gleichförmig beschleunigter Bewegung die Geschwindigkeit in jeder Secunde um die Geschwindigkeitseinheit cm sec^{-1} vermehrt wird. Diese Beschleunigungseinheit deutet man in der Mechanik durch die Benennung cm sec^{-2} an. Man hat daher im vorliegenden Falle alle trigonometrischen Tangenten, welche zu den einzelnen Punkten der 9 Geschwindigkeitscurven gehören, noch mit dem Faktor 100 zu multipliciren, um die Beschleunigungen in cm sec^{-2} ausgedrückt zu erhalten.

Es sind nun in derselben Weise, wie es weiter oben für die Bestimmung der Geschwindigkeiten aus einander gesetzt worden ist, aus einer genügenden Anzahl von Punkten der 9 Geschwindigkeitscurven die Beschleunigungen ermittelt worden. Man kann sich auch hier wieder mit Hülfe dieser Messungsergebnisse Diagramme

construiren, welche die Abhängigkeit der Beschleunigung von der Zeit graphisch veranschaulichen. Natürlich wird man die der Zeit proportionalen Abscissen wieder so bestimmen, dass 1 Secunde einer Länge von 1 Decimeter entspricht. Dagegen empfiehlt es sich bei diesen Diagrammen, die Einheit cm sec^{-2} der Beschleunigung nur durch eine Länge von $\frac{1}{10}$ mm darzustellen, wenn die Curven nicht zu unübersichtlich werden sollen. Dies entspricht auch etwa der Genauigkeit, welche sich überhaupt bei der Ableitung der Beschleunigungen erreichen lässt. Denn man hat wohl zu beachten, dass bei fortgesetzter Ableitung neuer Diagramme durch Bestimmung der Tangentenrichtungen voraufgehender Diagramme die unvermeidlichen Constructionsfehler sich immer mehr häufen werden. Derartige Diagramme, welche die Abhängigkeit der Beschleunigung von der Zeit graphisch darstellen, nennt man „Beschleunigungscurven“.

Man findet für jeden der drei Versuche die zu den Bewegungen in den drei Hauptrichtungen gehörenden Beschleunigungscurven ebenfalls auf den Tafeln V, VI und VII unter den zugehörigen Wegcurven und Geschwindigkeitscurven aufgezeichnet. Da dieselben in gleicher Weise aus den Geschwindigkeitscurven hervorgehen als die letzteren aus den Wegcurven, so werden auch zwischen ihnen und den Geschwindigkeitscurven dieselben engen Beziehungen bestehen wie zwischen den beiden ersten Curvenarten. Eine Beschleunigungscurve durchschneidet stets in demselben Moment die Abscissenaxe, in welchem die zugehörige Geschwindigkeitscurve durch ein Maximum oder Minimum hindurchgeht. Da diese Stellen der Geschwindigkeitscurven aber andererseits den Wendepunkten der zugehörigen Wegcurven entsprechen, so kann man schon aus den letzteren erkennen, in welchen Momenten die Beschleunigung der Bewegung des Gesamtschwerpunktes den Werth 0 besitzt. Ferner hat die Beschleunigung relativ grösste oder kleinste Werthe in allen Momenten, für welche die entsprechende Geschwindigkeitscurve durch einen Wendepunkt hindurchläuft. An den Wegcurven sind diese Momente nicht besonders auffällig in der Gestalt ausgeprägt. —

In den Wegcurven, Geschwindigkeitscurven und Beschleunigungscurven für jede der drei Bewegungscomponenten hat man nun das ganze Bewegungsgesetz für den Gesamtschwerpunkt anschaulich vor Augen. Um zu erkennen, in welcher Weise sich

die Bewegung des Gesamtschwerpunktes der Bewegung der unteren Extremitäten einreicht, hat man nur noch nöthig, an den Diagrammen die Momente R , L und S_r , S_l zu markiren, in denen ein Bein sich auf den Fussboden aufsetzt oder denselben verlässt, um seine Schwingung um den Hüftgelenkmittelpunkt zu beginnen. Es ist ferner nicht unzweckmässig, auch die Momente A_r , A_l und E_r , E_l anzudeuten, in denen der jeweils auf dem Fussboden allein aufstehende Fuss die Periode anfängt oder beendet, in welcher er längs der ganzen Sohle mit dem Fussboden in Berührung ist. Dies ist auf den Tafeln V, VI und VII für jeden der drei Versuche in der Weise geschehen, dass die Verticalen, welche nach Tabelle 9 auf Seite 82 den betreffenden Momenten entsprechen, durch stärkere Zeichnung vor den Verticalen des Millimeternetzes hervorgehoben sind, und zwar für die weniger wichtigen Momente A und E mittelst einer unterbrochenen Linie. Die Bezeichnung des einer jeden dieser Verticalen entsprechenden Momentes findet sich am oberen Ende derselben angeschrieben.

Durch diese Verticalen hat man nun neben der Bewegung des Gesamtschwerpunktes mit seinen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen ausserdem den ganzen Bewegungsvorgang des Gehens in seinen wichtigsten Etappen anschaulich vor Augen. Man erkennt ohne Weiteres, dass bei allen drei Versuchen der Moment der ersten Bewegungsphase zufällig in die Periode hineinfällt, in welcher das linke Bein allein auf dem Fussboden aufsteht, während das rechte Bein von hinten nach vorn schwingt. Der linke Fuss hat sich beim I. und III. Versuch kurz vorher mit der ganzen Sohle aufgesetzt; denn es vergeht noch eine verhältnissmässig lange Zeit, beim I. Versuch 0,230 sec und beim III. Versuch 0,192 sec, bis der linke Fuss beginnt, sich vom Boden abzuwickeln, indem er sich um einen Punkt seines Ballens dreht (Moment E_l). Die ganze Periode des Aufstehens des linken Beins mit ganzer Fusssohle dauert aber nach Tabelle 10 auf Seite 84 bei den beiden Versuchen bezüglich nur 0,265 sec und 0,2805 sec. Beim II. Versuch ist im Moment der ersten Bewegungsphase der aufgesetzte linke Fuss jedenfalls noch in Drehung um seine Hacke begriffen; denn da die doppelte Schrittdauer bei diesem Versuch 0,970 sec betrug, und der später folgende Moment A_l , in welchem der linke Fuss sich mit der ganzen Sohle auf den Fussboden aufsetzt, nach Tabelle 9 erst 0,997 sec nach dem Moment der

ersten Bewegungsphase eintritt, so müsste bei vollkommen gleichmässigem Gange zu dem vorhergehenden Moment A_i die Zeit von 0,027 sec gehören. In Wirklichkeit wird vielleicht die Zeit etwas kleiner sein; der genaue Moment A_i liess sich aber nach der früher angegebenen Methode hier nicht feststellen, da er zu nahe dem Moment der ersten Bewegungsphase liegt. Deshalb ist derselbe auch nicht in den Diagrammen des II. Versuchs auf Tafel VI durch eine Verticale markirt worden. Zwischen den nun folgenden Momenten E_i und S_i wickelt sich der linke Fuss vom Boden ab und verlässt ihn im Moment S_i ganz, um nach vorn zu schwingen. Dazwischen, im Moment R , setzt sich der rechte Fuss mit der Hacke auf den Fussboden auf. Er dreht sich dann zunächst um die Hacke, bis er im Moment A_r mit der ganzen Sohle auf dem Boden auftrifft, nachdem kurz vorher das linke Bein seine Schwingung begonnen hat. Zwischen A_r und E_r befindet der rechte Fuss sich dann längs der ganzen Fusssohle mit dem Boden in Berührung und wickelt sich von E_r an von demselben ab, indem er sich dabei um eine allmählich nach vorn wandernde Stelle des Ballens dreht. In S_r beginnt der rechte Fuss seine Schwingung, so dass er also von R bis S_r auf dem Boden aufgesetzt war. In dem vor S_r liegenden Moment L hat sich unterdess der linke Fuss mit der Hacke, und in dem späteren Moment A_i mit der ganzen Sohle auf den Boden aufgesetzt u. s. f. Wenn man sich mit Hülfe der eingetragenen Verticalen den ganzen Verlauf des Bewegungsvorganges klar gemacht hat, und sich ihn bei dem Studium der Diagramme immer wieder vergegenwärtigt, so kann man dann ohne Mühe jede einzelne Phase der Bewegung des Gesamtschwerpunktes in die richtige Beziehung zu den einzelnen Momenten des Ganges setzen.

Betrachtet man zunächst die zu den beiden ersten, unter gleichen Verhältnissen angestellten Versuchen gehörenden Diagramme auf Tafel V und VI, so erkennt man auf den ersten Blick wieder eine grosse Uebereinstimmung bei allen einander entsprechenden Curven. Trotzdem die beiden Versuche vollkommen unabhängig von einander angestellt worden sind, und trotzdem bei der Berechnung der Schwerpunktscoordinaten und der Ableitung der Geschwindigkeiten und Beschleunigungen des II. Versuchs nicht die mindeste Rücksicht auf die entsprechenden Resultate des I. Versuchs genommen wurde, nimmt sich die Tafel VI bei-

nahe wie eine nach dem Augenmaass hergestellte Copie der Tafel V aus. Allerdings hat man dabei in Rücksicht zu ziehen, dass die Anfangsmomente nicht genau übereinstimmen, sondern dass der Nullpunkt für die Zeit beim I. Versuch innerhalb des Bewegungsvorganges um ca. 0,05 sec später angenommen ist wie beim II. Versuch; es werden daher bei ersterem alle Abscissen um abgerundet 5 mm kleiner sein als bei letzterem. Durch die eingetragenen Verticalen wird man aber von diesem zufälligen Unterschiede in der Wahl des Anfangspunktes ganz unabhängig. Bei genauerem Vergleich erkennt man nur eine geringe Ungleichmässigkeit in dem Verhalten der Beschleunigungscurven. So hat der letzte Gipfel der zu der verticalen Bewegungscomponente gehörenden Beschleunigungscurve beim I. Versuch eine etwas andere Form wie beim II. Versuch, und es liegen die Minima bei ersterem tiefer als bei letzterem. Immerhin befinden sich aber sowohl die Maxima als auch die Minima bei beiden Curven an relativ gleichen Stellen. Das Gleiche gilt für die zur Bewegung in der Seitenrichtung gehörenden Beschleunigungscurven, wenn auch hier an den beiden Enden sich kleine Ungleichmässigkeiten in der Form einstellen. Dagegen findet man bei den zur Bewegung in der Gangrichtung gehörenden Beschleunigungscurven auch geringe Abweichungen in der zeitlichen Lage der höchsten Erhebungen. Beim I. Versuch fällt der erste Gipfel in den Moment des Aufsetzens des rechten Beins, der zweite in die Periode des gleichzeitigen Aufstehens beider Beine. Beim II. Versuch liegen beide Maxima noch vor dem Aufsetzen des jeweils schwingenden Beins auf den Fussboden. Man geht demnach gewiss nicht fehl, wenn man die Gipfel in die Momente des Aufsetzens eines Beins verlegt. Diese kleinen Unterschiede können gerade bei der Bewegung in der Gangrichtung nicht überraschen, wenn man beachtet, dass hierbei die Wegcurven durch die direct bestimmten Punkte nicht so sicher festgelegt waren als für die beiden anderen Bewegungscomponenten. Ausserdem ist im Allgemeinen bei den Beschleunigungscurven von vornherein eine geringere Genauigkeit zu erwarten als bei den Geschwindigkeits- und Wegcurven.

Sieht man von den geringen Differenzen ab, so kann man aus den Curven der Tafeln V und VI folgende Gesetze der Bewegung des Gesamtschwerpunktes in den drei Hauptrichtungen für den Gang des unbelasteten Menschen ablesen.

Bewegung des Gesamtschwerpunktes in der Gangrichtung: Der Gesamtschwerpunkt des menschlichen Körpers schwingt während der Dauer eines einfachen Schrittes in der Gangrichtung um eine zur Gangrichtung senkrechte und mit der mittleren Ganggeschwindigkeit sich gleichmässig selbst in der Gangrichtung fortbewegende Ebene hin und her. Seine grösste Entfernung nach hinten und vorn von dieser Ebene betrug bei unserem Individuum im Durchschnitt 12 mm. Kurz vor dem Aufsetzen des jeweils schwingenden Beins, während das andere Bein schon seinen Fuss vom Boden abwickelt, befindet sich der Schwerpunkt am weitesten hinter dieser bewegten Ebene. Er besitzt dabei relativ zu der bewegten Ebene die Geschwindigkeit Null und in Folge dessen im ruhenden Raume die mittlere Ganggeschwindigkeit. Gleichzeitig erfährt er in demselben Moment eine Beschleunigung nach vorn. In Folge dessen vergrössert er jetzt seine relative Geschwindigkeit und rückt der bewegten Ebene von hinten her näher. Er erreicht sie jedoch noch nicht in dem Moment, in welchem das schwingende Bein sich nun auf den Boden aufsetzt, sondern erst kurz vor dem Moment, in welchem das bisher auf dem Boden aufstehende Bein seine Schwingung beginnt. Dabei hat er fortwährend an Geschwindigkeit zugenommen, so dass er nun mit der Maximalgeschwindigkeit durch die Ebene von hinten nach vorn hindurchtritt. Diese Zunahme der Geschwindigkeit ist nicht gleichmässig, wie man aus dem Verhalten der Beschleunigungscurve erkennt. Die Beschleunigung wächst nämlich zunächst ziemlich stark bis zum Moment des Aufsetzens des bisher schwingenden Beins und nimmt dann in der Periode des Aufstehens beider Beine sehr rasch wieder ab, so dass sie im Moment des Ablösens oder noch kurz vor dem Ablösen des anderen Beins vom Boden zu Null geworden ist, und zwar in demselben Moment, in welchem der Gesamtschwerpunkt die bewegte Ebene von hinten her eingeholt hat. Das Verhalten der beiden Beine ist hierbei nicht ganz gleichmässig, wie ja auch nach dem schon früher erwähnten asymmetrischen Verhalten derselben zu erwarten stand. Das rechte Bein beginnt seine Schwingung ziemlich genau in dem Moment, in welchem der Gesamtschwerpunkt die bewegte Ebene passirt. Das linke Bein löst sich dagegen erst vom Boden ab, nachdem der Gesamtschwerpunkt auf die Vorderseite der bewegten Ebene hinübergetreten und die

Geschwindigkeit schon wieder im Abnehmen begriffen ist, indem nunmehr die Beschleunigung die Richtung von vorn nach hinten besitzt oder, mit anderen Worten, in Verzögerung übergegangen ist. Da die absolute Geschwindigkeit aber immer noch grösser als die mittlere Ganggeschwindigkeit bleibt, so entfernt sich der Schwerpunkt immer weiter nach vorn von der bewegten Ebene, bis er kurz nach dem Anfange der Periode des Aufstehens des Beins mit ganzer Fusssohle seine grösste Entfernung erreicht und die mittlere Ganggeschwindigkeit angenommen hat. Die Verzögerung hat dabei zunächst sehr stark zugenommen und kurz vor dem Maximum der Entfernung des Schwerpunktes von der bewegten Ebene ihren grössten Werth erreicht. Der Schwerpunkt nähert sich nun der bewegten Ebene von vorn her, indem er relativ zu derselben eine negative Geschwindigkeit oder, was damit gleichbedeutend ist, im ruhenden Raume eine Geschwindigkeit annimmt, die kleiner als die mittlere Ganggeschwindigkeit ist. Unterdess hat sich die Verzögerung immer mehr vermindert. Etwa zu Anfang des letzten Drittels der Periode, in welcher der Fuss mit der ganzen Sohle auf dem Boden aufsteht, tritt der Schwerpunkt wieder hinter die bewegte Ebene. Fast gleichzeitig mit diesem zweiten Durchgang durch die Ebene besitzt er die grösste relative Geschwindigkeit in der Richtung von vorn nach hinten, bezüglich die geringste Geschwindigkeit im ruhenden Raume, so dass in demselben Moment die Verzögerung wieder in Beschleunigung übergeht. Während nun der Schwerpunkt mit abnehmender relativer Geschwindigkeit sich nach hinten von der Ebene entfernt, nimmt die Beschleunigung immer mehr zu. In Folge dessen erreicht die relative Geschwindigkeit bald den Werth Null, und die auf den ruhenden Raum bezogene Geschwindigkeit ist wieder bis zur mittleren Ganggeschwindigkeit angewachsen. In diesem Moment, der, wie schon oben erwähnt, kurz vor dem Aufsetzen des bisher schwingenden Beins eintritt, kehrt der Schwerpunkt die Richtung seiner zu der bewegten Ebene relativen Bewegung um und beginnt nun sich derselben von hinten her zu nähern. Damit beginnt aber das geschilderte Spiel von Neuem. Die Dauer dieser Schwingung des Gesamtschwerpunktes relativ zu der mit der mittleren Ganggeschwindigkeit fortbewegten Frontalebene stimmt daher mit der Dauer eines einfachen Schrittes überein.

Bewegung des Gesamtschwerpunktes in der Seiten-

richtung: Senkrecht zu der Gangebene, d. h. der durch die Gangrichtung gehenden Verticalebene, führt der Gesamtschwerpunkt folgende Schwingungsbewegung aus. Während des Aufstehens eines einzigen Beins befindet er sich stets auf der Seite der Gangebene, welcher das betreffende Bein angehört. Der Moment des Uebertretens von einer Seite auf die andere ist für beide Beine bei unserem Individuum etwas verschieden. Der Uebertritt von rechts nach links fällt genau mit dem Aufsetzen des linken Beins auf den Boden zusammen. Dagegen durchschreitet der Schwerpunkt die Gangebene von links nach rechts erst, nachdem das rechte Bein sich auf den Boden aufgesetzt hat, und zwar in einem Moment, welcher ungefähr die zeitliche Mitte der Periode des Aufstehens beider Beine darstellt. Die Geschwindigkeit erreicht in beiden Fällen erst kurz nach dem Passiren der Gangebene in der einen oder anderen Richtung ihr Maximum, und gleichzeitig die Beschleunigung dementsprechend den Werth Null. Die grösste Entfernung von der Gangebene besitzt der Schwerpunkt sowohl rechts wie links etwa am Ende des ersten Drittels der Periode des Aufstehens des Fusses mit der ganzen Sohle. Da hier eine Aenderung der Bewegungsrichtung eintritt, so besitzt natürlich die Geschwindigkeit in diesem Moment immer den Werth Null. Dieselbe hat dabei von der Mitte der Periode des Aufstützens beider Beine fortwährend an Grösse abgenommen, und zwar nicht gleichmässig, sondern im Anfang mit zunehmender, und dann mit abnehmender Verzögerung. Das Maximum der Verzögerung liegt für beide Seiten merklich verschieden. Befindet sich der Schwerpunkt auf der rechten Seite der Gangebene, so tritt dasselbe erst kurz vor dem Moment der grössten Ausweichung nach rechts ein. Liegt dagegen der Schwerpunkt auf der linken Seite der Gangebene, so fällt das Maximum der Verzögerung bei beiden Versuchen übereinstimmend mit dem Moment zusammen, in welchem das rechte Bein seine Schwingung beginnt. Während nun der Schwerpunkt sich auf der einen oder anderen Seite der Gangebene wieder nähert, vergrössert er seine Geschwindigkeit nur allmählich. Er hält sogar einmal, etwa am Anfang des letzten Drittels der Periode des Aufstehens des Fusses mit ganzer Sohle, seine Geschwindigkeit für eine kurze Zeit nahezu constant, indem die Beschleunigung annähernd auf Null heruntergesunken ist; er vergrössert aber dann wieder die Geschwindigkeit, und

zwar mit wachsender Beschleunigung, bis zum Durchtritt durch die Gangebene, und auch noch kurze Zeit auf der anderen Seite der Gangebene, aber dann mit abnehmender Beschleunigung. Endlich erreicht die Geschwindigkeit in der zweiten Hälfte der Periode des Aufstehens beider Beine ihr Maximum, und die Beschleunigung geht von da an in Verzögerung über. Zu beachten ist noch, dass die Dauer der Schwingung des Gesamtschwerpunktes senkrecht zur Gangebene nicht, wie bei der Bewegung in der Gangrichtung, gleich der Dauer eines einfachen Schrittes, sondern gleich der eines Doppelschrittes ist.

Bewegung des Gesamtschwerpunktes in der verticalen Richtung: Endlich führt der Gesamtschwerpunkt des menschlichen Körpers sehr regelmässige Schwingungen in verticaler Richtung um eine Horizontalebene aus, welche bei den beiden ersten Versuchen übereinstimmend eine Höhe von 91,45 cm über dem Fussboden besitzt. Er passirt diese Ebene in der Richtung von oben nach unten, nachdem der allein auf dem Boden aufstehende Fuss begonnen hat, sich durch Drehung um einen Punkt des Fussballens vom Boden abzuwickeln. Dabei ist kurz vorher seine Geschwindigkeit in der Richtung von oben nach unten maximal und die Beschleunigung Null gewesen. Er bewegt sich darauf mit abnehmender Geschwindigkeit nach unten, bis er etwa in der Mitte der Periode des Aufstehens beider Beine seinen tiefsten Stand und die Geschwindigkeit Null erreicht hat. Die Geschwindigkeit nimmt dabei nicht erst allmählich, sondern gleich von vornherein ziemlich rasch ab, denn die Verzögerung für die Bewegung nach unten (Beschleunigung nach oben) besitzt im Moment des Hindurchtretens des Schwerpunktes durch die Horizontalebene schon einen beträchtlichen Werth. Darauf kehrt dann der Schwerpunkt die Richtung seiner Bewegung um und nähert sich der Horizontalebene mit zunehmender Geschwindigkeit von unten, bis er sie etwa am Ende des ersten Viertels der Periode des Aufstehens des anderen Fusses mit ganzer Sohle wieder erreicht hat. Kurz vor diesem Moment hat die Geschwindigkeit und noch einen Augenblick vorher die nach oben gerichtete Beschleunigung ein Maximum erreicht. Die letztere ist aber gleich darauf fast momentan auf Null herabgesunken, wie es für das Maximum der Geschwindigkeit erforderlich ist; sie geht dann ebenso rasch in negative Beschleunigung, d. h. Beschleunigung

nach unten, über, so dass sich also im Moment des Hindurchtretens des Schwerpunktes durch die Horizontalebene von unten nach oben die Geschwindigkeit schon wieder etwas verringert hat. Der Schwerpunkt erhebt sich nun mit weiter abnehmender Geschwindigkeit über die Horizontalebene, bis er gegen Ende des zweiten Drittels der Periode des Aufstehens des Fusses mit ganzer Sohle seinen höchsten Stand und wiederum die Geschwindigkeit Null erreicht hat. Die Beschleunigung nach unten (Verzögerung der Aufwärtsbewegung) hat dabei zunächst schnell, dann etwas langsamer und dann wieder schneller an Grösse zugenommen und bei der höchsten Erhebung des Schwerpunktes ihren grössten Werth erreicht, der beim II. Versuch bedeutend kleiner ist als beim I. Versuch. Darauf kehrt der Schwerpunkt die Richtung seiner Bewegung um. Während der nun folgenden Abwärtsbewegung des Schwerpunktes verringert sich die nach unten gerichtete Beschleunigung wieder, und zwar so schnell, dass sie den Werth Null angenommen hat, bevor der Schwerpunkt von oben her wieder an der Horizontalebene angelangt ist. Dementsprechend hat gleichzeitig die Geschwindigkeit der Abwärtsbewegung schnell zugenommen und bald ihren grössten Werth in dieser Richtung erreicht. Kurz darauf tritt nun der Schwerpunkt abermals in der Richtung von oben nach unten durch die Horizontalebene hindurch, und das Spiel beginnt von Neuem. Die Dauer dieser eben geschilderten verticalen Schwingung des Schwerpunktes ist, wie bei der Schwingung in der Gangrichtung, gleich der Dauer eines einfachen Schrittes. —

Vergleicht man nun mit dieser Bewegung des Schwerpunktes in den drei Hauptrichtungen diejenige beim Gang mit Belastung durch das Militärgepäck (Tafel VII), so erkennt man im Wesentlichen Unterschiede in der Ausdehnung der einzelnen Bewegungscomponenten und kleine zeitliche Verschiebungen der Maxima und Minima an den drei Curvenarten. Ausserdem zeigen die Beschleunigungen in verticaler Richtung ein etwas unstetes Verhalten; dies ist jedenfalls eine Folge der grossen, ungewöhnten Last, indem die Muskeln nicht gleich im ersten Moment die richtige Spannung angenommen haben. Im Uebrigen zeigen die Curven des III. Versuchs dieselben charakteristischen Merkmale wie die der beiden ersten Versuche. —

Will man nun nicht bloss einen Ueberblick über den gesetzmässigen Ablauf der Bewegung des Gesamtschwerpunktes ge-

winnen, sondern die letztere zum Ausgangspunkt für die weitere Untersuchung nehmen, so muss man sich die genauen Werthe der Geschwindigkeiten und Beschleunigungen verschaffen. Dieselben lassen sich aus den entsprechenden Diagrammen der Tafeln V, VI und VII für jeden beliebigen Moment ablesen.

Es ist zweckmässig, diese Werthe für die 31 Bewegungsphasen festzustellen, da für dieselben auch die Coordinaten der Gelenkmittelpunkte und der Einzelschwerpunkte, und damit die ganze Haltung des Körpers genau bekannt sind. Man braucht zu diesem Zwecke nur die Tabelle 8 auf Seite 82 zu Hülfe zu nehmen, in welcher die zu den einzelnen Bewegungsphasen gehörenden Zeiten (Abscissen der Diagramme) angegeben sind. Gleichzeitig empfiehlt es sich, die Coordinaten des Gesamtschwerpunktes in Bezug auf das bewegliche Coordinatensystem, welche zwar schon bekannt sind, noch einmal aus den Wegcurven für die 31 Bewegungsphasen abzulesen, da man auf diese Weise die genaueren Werthe bekommt, welche der Ableitung der Geschwindigkeiten und Beschleunigungen zu Grunde gelegen haben. Nimmt man als Anfangspunkt des beweglichen Coordinatensystems nicht einen Punkt des horizontalen Fussbodens, wie es bisher geschehen war, sondern den Kernpunkt der Bahn des Gesamtschwerpunktes, d. h. also den Schnittpunkt der drei zu einander senkrechten mittleren Ebenen, um welche der Gesamtschwerpunkt in den drei Hauptrichtungen innerhalb des mit der mittleren Ganggeschwindigkeit fortschreitenden Raumes nach beiden Seiten hin- und herschwingt, so stellen die drei mittleren Ebenen selbst die Coordinatenebenen dar. Der Coordinatenanfangspunkt fällt also dann zusammen mit dem Mittelpunkt für die Schwingungen des Gesamtschwerpunktes in den drei Hauptrichtungen.

Die auf dieses System bezogenen Coordinaten können ohne Weiteres für jeden Versuch aus den drei Wegcurven als verticale Abstände von der in den Diagrammen durch stärkere Zeichnung markirten mittleren Horizontalen gewonnen werden. Diese mittlere Horizontale ist bei den Wegcurven für die Bewegung in der Gangrichtung identisch mit der ursprünglich verwendeten Abscissenaxe der Diagramme. Das Gleiche gilt auch beim I. und III. Versuch für die zu der Bewegung in der Seitenrichtung gehörende mittlere Horizontale; nur beim II. Versuch hat man dieselbe $2\frac{1}{2}$ mm unter der ursprünglich verwendeten Abscissenaxe anzunehmen, da sonst die grösste Ausweichung des Gesamtschwer-

punktes nach rechts grösser als die grösste Ausweichung nach links ausfallen würde. Bei den Wegcurven für die Bewegung in verticaler Richtung waren zunächst die Abstände des Schwerpunktes von dem horizontalen Fussboden als Diagrammordinaten verwendet worden, so dass die Abscissenaxe der Diagramme gar nicht mit auf den Tafeln aufgezeichnet werden konnte. Die mittlere Horizontale verläuft beim I. und II. Versuch übereinstimmend in einer Höhe von 91,45 cm und beim III. Versuch in Folge der Belastung in der grösseren Höhe von 97,55 cm über dem horizontalen Fussboden, wie man ohne Weiteres aus den Diagrammen ableiten kann. Es liegt daher der Anfangspunkt des beweglichen Coordinatensystems beim I. Versuch in der XZ -Ebene des ruhenden Coordinatensystems in einer Entfernung von 91,45 cm über der X -Axe; beim II. Versuch liegt er 0,25 cm nach rechts von der XZ -Ebene des ruhenden Coordinatensystems, ebenfalls in einer Höhe von 91,45 cm über der X -Axe, und endlich beim III. Versuch wiederum in der XZ -Ebene des ruhenden Coordinatensystems, aber in der grösseren Höhe von 97,55 cm über der X -Axe. Ausserdem besitzt der Anfangspunkt des beweglichen Coordinatensystems in der Bewegungsphase Nr. 1 von der YZ -Ebene des ruhenden Coordinatensystems nach Tabelle 6 auf Seite 70 bei den drei Versuchen bezüglich den Abstand von 39,25 cm, 44,25 cm und 31,88 cm; dieser Abstand vergrössert sich für jede folgende der 31 Bewegungsphasen bezüglich um 6,03 cm, 6,07 cm und 5,57 cm (vgl. Seite 68). Sind ξ , η und ζ die Coordinaten des beweglichen Systems, welche in Zukunft kurz als „relative Coordinaten“ bezeichnet sein sollen, so kann man hieraus für jede Bewegungsphase leicht die entsprechenden Coordinaten x , y' und z für das ruhende System, wie sie sich nach der auf Seite 53 erwähnten geringen Drehung um die Z -Axe gestalten, ableiten.

Führt man dann endlich beim I. und II. Versuch die kleine Drehung um die Z -Axe im umgekehrten Drehungssinne wieder aus, so erhält man schliesslich die Coordinaten x , y , z des Gesamtschwerpunktes in Bezug auf das im I. Theil dieser Untersuchung verwendete ruhende Coordinatensystem, in welchem auch in dem vorliegenden Theile die Einzelschwerpunkte und der Gesamtschwerpunkt (Tabelle 1, 2 und 5) zunächst ausgedrückt sind. Die auf diese Weise rückwärts noch einmal abgeleiteten „absoluten

Tabelle 11.

I. Versuch.

Nr.	Koordinaten des Gesamtschwerpunktes in cm.						Geschwindigkeiten des Gesamtschwerpunktes in cm sec ⁻¹				Beschleunigungen des Gesamtschwerpunktes in cm sec ⁻²			Nr.
	Relative Koordinaten			Absolute Koordinaten			Gangrichtung		Seiten- richtung	Verticale Richtung	Gang- richtung	Seiten- richtung	Verticale Richtung	
	ξ	η	ζ	x	y	z	relativ	absolut						
1	+0,30	-1,29	-1,21	39,55	-1,35	90,24	+ 2,0	159,3	- 1,0	+29,1	-125	+ 13	+140	1
2	+0,27	-1,29	-0,05	45,55	-1,36	91,40	- 2,5	154,8	- 0,2	+28,2	- 92	+ 33	-142	2
3	+0,10	-1,26	+1,03	51,41	-1,34	92,48	- 5,7	151,6	+ 1,5	+22,0	- 59	+ 44	-208	3
4	-0,15	-1,20	+1,77	57,19	-1,29	93,22	- 7,7	149,6	+ 2,6	+11,7	- 23	+ 14	-340	4
5	-0,46	-1,10	+1,98	62,91	-1,20	93,43	- 8,0	149,3	+ 2,7	- 5,9	+ 7	- 10	-452	5
6	-0,73	-1,00	+1,58	68,67	-1,11	93,03	- 7,3	150,0	+ 2,1	-19,7	+ 32	- 8	-287	6
7	-0,97	-0,90	+0,69	74,46	-1,02	92,14	- 5,6	151,7	+ 2,4	-29,7	+ 59	+ 26	-170	7
8	-1,16	-0,77	-0,46	80,30	-0,90	90,99	- 2,9	154,4	+ 3,8	-26,0	+101	+ 48	+197	8
9	-1,23	-0,57	-1,31	86,26	-0,71	90,14	+ 2,9	160,2	+ 5,9	-18,1	+189	+ 67	+200	9
10	-1,02	-0,31	-1,88	92,50	-0,46	89,57	+12,0	169,3	+ 8,5	-10,6	+328	+ 78	+201	10
11	-0,39	+0,08	-2,15	99,16	-0,08	89,30	+19,5	176,8	+10,9	- 2,0	+ 61	+ 33	+205	11
12	+0,40	+0,54	-1,99	105,98	+0,37	89,46	+18,4	175,7	+11,0	+ 6,8	-118	- 23	+214	12
13	+0,99	+0,89	-1,57	112,60	+0,71	89,88	+11,2	168,5	+ 9,0	+15,4	-268	- 67	+237	13
14	+1,22	+1,16	-0,76	118,86	+0,97	90,69	0	157,3	+ 5,2	+25,0	-230	-120	+294	14
15	+1,03	+1,27	+0,43	124,70	+1,07	91,88	- 7,0	150,3	+ 0,6	+26,6	-123	- 84	-140	15
16	+0,70	+1,26	+1,37	130,40	+1,05	92,82	-10,2	147,1	- 1,1	+20,6	- 60	- 38	-190	16
17	+0,28	+1,18	+1,98	136,01	+0,96	93,43	-11,5	145,8	- 1,9	+11,0	- 22	- 17	-390	17
18	-0,17	+1,11	+1,94	141,59	+0,88	93,39	-11,4	145,9	- 2,3	-10,0	+ 12	- 10	-355	18
19	-0,56	+1,02	+1,35	147,23	+0,78	92,80	-10,4	146,9	- 2,8	-20,2	+ 44	- 18	-223	19
20	-0,90	+0,87	+0,47	152,92	+0,63	91,92	- 8,2	149,1	- 3,9	-25,3	+ 74	- 35	- 25	20
21	-1,14	+0,69	-0,49	158,71	+0,44	90,96	- 4,2	153,1	- 5,7	-21,3	+105	- 57	+137	21
22	-1,23	+0,43	-1,16	164,65	+0,17	90,29	+ 0,9	158,2	- 7,9	-15,5	+136	- 83	+150	22
23	-1,07	+0,05	-1,65	170,84	-0,22	89,80	+ 6,4	163,7	-11,0	- 9,5	+174	- 90	+157	23
24	-0,68	-0,39	-1,86	177,26	-0,67	89,59	+13,8	171,1	-12,5	- 1,9	+202	+ 12	+186	24
25	-0,07	-0,84	-1,73	183,90	-1,13	89,72	+17,4	174,7	- 9,3	+ 5,3	- 23	+110	+201	25
26	+0,53	-1,09	-1,34	190,53	-1,39	90,11	+13,4	170,7	- 4,9	+13,0	-177	+ 67	+211	26
27	+0,88	-1,28	-0,71	196,91	-1,60	90,74	+ 2,0	159,3	- 3,3	+21,9	-305	+ 74	+238	27
28	+0,79	-1,35	+0,29	202,85	-1,67	91,74	- 6,5	150,8	0	+24,4	-160	+ 76	- 72	28
29	+0,47	-1,28	+1,15	208,56	-1,61	92,60	-10,9	146,4	+ 2,2	+19,5	- 90	+ 44	-190	29
30	-0,01	-1,15	+1,79	214,11	-1,49	93,24	-13,9	143,4	+ 3,3	+ 8,9	- 28	+ 20	-335	30
31	-0,52	-1,03	+1,84	219,63	-1,38	93,29	-13,5	143,8	+ 3,7	- 8,2	+ 23	+ 6	-444	31

„Koordinaten“ des Gesamtschwerpunktes, wie sie kurz zum Unterschied von den auf das bewegliche System bezogenen relativen Koordinaten ξ , η , ζ heissen mögen, sind genauer als die in den

Tabelle 11.

II. Versuch.

Nr.	Koordinaten des Gesamtschwerpunktes in cm.						Geschwindigkeiten des Gesamtschwerpunktes in cm sec ⁻¹				Beschleunigungen des Gesamtschwerpunktes in cm sec ⁻²			Nr.
	Relative Koordinaten			Absolute Koordinaten			Gangrichtung		Seiten- richtung	Verticale Richtung	Gang- richtung	Seiten- richtung	Verticale Richtung	
	ξ	η	ζ	x	y	z	relativ	absolut						
1	+0,67	-0,74	-1,90	44,92	-0,60	89,55	+13,2	171,6	-4,4	+14,7	-136	+50	+166	1
2	+1,06	-0,89	-1,26	51,38	-0,76	90,19	+5,0	163,4	-2,7	+21,5	-243	+41	+220	2
3	+1,11	-0,96	-0,20	57,50	-0,85	91,25	-2,5	155,9	-0,9	+26,1	-163	+30	+13	3
4	+0,94	-0,97	+0,72	63,40	-0,87	92,17	-7,2	151,2	+0,3	+23,1	-109	+20	-136	4
5	+0,63	-0,96	+1,54	69,16	-0,88	92,99	-10,4	148,0	+1,1	+16,2	-66	+12	-218	5
6	+0,17	-0,94	+1,93	74,77	-0,87	93,38	-12,0	146,4	+1,3	+2,2	-17	+7	-430	6
7	-0,29	-0,90	+1,71	80,38	-0,84	93,16	-11,7	146,7	+1,6	-12,5	+32	+6	-345	7
8	-0,67	-0,83	+1,07	86,07	-0,79	92,52	-9,6	148,8	+1,9	-23,2	+81	+11	-210	8
9	-1,00	-0,75	0	91,81	-0,72	91,45	-5,7	152,7	+2,5	-25,9	+146	+21	+160	9
10	-1,13	-0,63	-0,88	97,75	-0,62	90,57	+1,8	160,2	+3,5	-19,4	+226	+41	+177	10
11	-0,83	-0,45	-1,56	104,12	-0,48	89,89	+10,0	168,4	+5,5	-12,3	+218	+81	+194	11
12	-0,33	-0,15	-1,92	110,69	-0,17	89,53	+15,3	173,7	+9,5	-4,1	+79	+78	+216	12
13	+0,33	+0,24	-1,90	117,42	+0,21	89,55	+15,4	173,8	+10,3	+4,3	-45	-20	+235	13
14	+0,87	+0,57	-1,52	124,03	+0,52	89,93	+11,1	169,5	+8,7	+12,8	-167	-62	+260	14
15	+1,18	+0,85	-0,79	130,41	+0,79	90,66	+3,0	161,4	+5,6	+22,9	-245	-95	+306	15
16	+1,11	+1,00	+0,25	136,41	+0,92	91,70	-4,5	153,9	+1,5	+27,2	-151	-90	-190	16
17	+0,84	+1,01	+1,14	142,21	+0,92	92,59	-8,2	150,2	-0,8	+18,0	-86	-39	-250	17
18	+0,52	+0,95	+1,64	147,96	+0,84	93,09	-9,8	148,6	-1,7	+8,8	-38	-12	-283	18
19	+0,14	+0,87	+1,72	153,65	+0,75	93,17	-10,4	148,0	-2,0	-2,9	0	-7	-420	19
20	-0,22	+0,81	+1,27	159,36	+0,68	92,72	-9,6	148,8	-2,4	-15,7	+39	-13	-250	20
21	-0,56	+0,69	+0,50	164,09	+0,54	91,95	-7,6	150,8	-3,2	-22,2	+80	-26	-105	21
22	-0,81	+0,55	-0,35	170,91	+0,39	91,10	-3,9	154,5	-4,4	-21,1	+122	-41	+155	22
23	-0,83	+0,35	-1,04	176,96	+0,17	90,41	+1,3	159,7	-6,1	-15,5	+163	-62	+162	23
24	-0,60	+0,08	-1,50	183,26	-0,11	89,95	+7,8	166,2	-8,7	-8,8	+157	-74	+163	24
25	-0,19	-0,25	-1,70	189,74	-0,46	89,75	+12,3	170,7	-10,0	-2,3	+85	-2	+175	25
26	+0,36	-0,59	-1,59	196,36	-0,81	89,86	+14,1	172,5	-7,6	+4,0	-20	+104	+203	26
27	+0,92	-0,83	-1,22	202,99	-1,07	90,23	+10,3	168,7	-4,3	+14,3	-185	+67	+295	27
28	+1,11	-0,94	-0,44	209,25	-1,19	91,01	-1,1	157,3	-2,0	+28,2	-205	+49	+385	28
29	+0,79	-0,97	+0,70	215,00	-1,22	92,15	-6,3	152,1	-0,4	+27,5	-95	+40	-200	29
30	+0,55	-0,97	+1,57	220,83	-1,25	93,02	-8,9	149,5	+1,0	+17,8	-39	+27	-256	30
31	+0,22	-0,93	+2,12	226,57	-1,23	93,57	-9,5	148,9	+1,3	+7,9	-2	+13	-284	31

Tabellen 1, 2 und 5 angegebenen. Da sie bei allen späteren Untersuchungen an Stelle der früher angegebenen zu Grunde gelegt werden sollen, so sind sie in der Tabelle 11 (S. 104—106)

Tabelle 11.

III. Versuch (mit Gepäck).

Nr.	Koordinaten des Gesamtschwerpunktes in cm.						Geschwindigkeiten des Gesamtschwerpunktes in cm sec ⁻¹				Beschleunigungen des Gesamtschwerpunktes in cm sec ⁻²			Nr.
	Relative Koordinaten			Absolute Koordinaten			Gangrichtung		Seiten- richtung	Verticale Richtung	Gang- richtung	Seiten- richtung	Verticale Richtung	
	ξ	η	ζ	x	y	z	relativ	absolut						
1	+0,32	-3,12	+0,38	32,20	-3,12	97,93	-3,5	141,8	+9,9	+23,5	-110	0	-185	1
2	+0,10	-2,73	+1,23	37,55	-2,73	98,78	-6,8	138,5	+10,0	+15,7	-73	+1	-222	2
3	-0,19	-2,34	+1,65	42,83	-2,34	99,20	-8,9	136,4	+10,1	+6,2	-39	+3	-308	3
4	-0,55	-1,92	+1,64	48,04	-1,92	99,19	-9,7	135,6	+10,3	-10,3	-3	+5	-350	4
5	-0,89	-1,51	+1,02	53,27	-1,51	98,57	-8,8	136,5	+10,7	-21,0	+41	+10	-230	5
6	-1,19	-1,06	+0,04	58,54	-1,06	97,59	-6,5	138,8	+11,2	-28,0	+93	+18	-110	6
7	-1,39	-0,59	-1,06	63,91	-0,59	96,49	-1,1	144,2	+12,1	-27,0	+152	+31	+150	7
8	-1,28	-0,12	-1,97	69,59	-0,12	95,58	+5,9	151,2	+13,7	-20,0	+205	+49	+220	8
9	-0,84	+0,49	-2,51	75,60	+0,49	95,04	+14,6	159,9	+16,2	-9,1	+200	+70	+370	9
10	-0,21	+1,13	-2,58	81,80	+1,13	94,97	+20,6	165,9	+17,6	+5,9	+70	-20	+350	10
11	+0,66	+1,75	-2,13	88,24	+1,75	95,42	+18,8	164,1	+14,7	+14,5	-155	-95	+180	11
12	+1,17	+2,22	-1,32	94,32	+2,22	96,23	+9,0	154,3	+11,0	+25,0	-250	-140	+390	12
13	+1,34	+2,52	-0,13	100,06	+2,52	97,42	+1,0	146,3	+5,1	+37,0	-156	-115	0	13
14	+1,27	+2,64	+1,14	105,56	+2,64	98,69	-3,0	142,3	+1,2	+26,5	-102	-90	-350	14
15	+1,10	+2,63	+2,02	110,96	+2,63	99,57	-5,9	139,4	-1,7	+15,1	-71	-67	-290	15
16	+0,88	+2,52	+2,32	116,31	+2,52	99,87	-7,9	137,4	-3,8	+2,1	-41	-53	-375	16
17	+0,54	+2,33	+2,12	121,54	+2,33	99,67	-9,1	136,2	-5,8	-11,9	-9	-49	-370	17
18	+0,19	+2,10	+1,38	126,76	+2,10	98,93	-9,1	136,2	-7,3	-24,0	+31	-49	-280	18
19	-0,10	+1,80	+0,35	132,04	+1,80	97,90	-6,9	138,4	-9,3	-27,0	+93	-54	+100	19
20	-0,30	+1,42	-0,59	137,41	+1,42	96,96	-1,1	144,2	-11,5	-20,5	+165	-70	+202	20
21	-0,21	+0,90	-1,24	143,07	+0,90	96,31	+4,8	150,1	-14,9	-13,0	+128	-107	+200	21
22	+0,04	+0,23	-1,54	148,89	+0,23	96,01	+9,0	154,3	-20,0	-3,0	+77	-193	+262	22
23	+0,38	-0,63	-1,45	154,80	-0,63	96,10	+10,9	156,2	-22,9	+6,1	+16	+150	+240	23
24	+0,77	-1,40	-1,03	160,76	-1,40	96,52	+9,1	154,4	-16,0	+13,2	-104	+131	+147	24
25	+1,01	-1,95	-0,42	166,57	-1,95	97,13	+2,4	147,7	-12,0	+17,8	-210	+95	+116	25
26	+0,97	-2,37	+0,42	172,10	-2,37	97,97	-4,9	140,4	-8,9	+22,4	-155	+68	+81	26
27	+0,64	-2,67	+1,29	177,34	-2,67	98,84	-9,7	135,6	-6,8	+20,2	-90	+46	-195	27
28	+0,21	-2,93	+1,94	182,48	-2,93	99,49	-12,3	133,0	-5,4	+9,9	-49	+27	-400	28
29	-0,27	-3,15	+2,01	187,57	-3,15	99,56	-13,3	132,0	-4,9	-6,4	-19	+16	-360	29
30	-0,75	-3,34	+1,55	192,66	-3,34	99,10	-13,4	131,9	-4,2	-16,2	+11	+9	-160	30
31	-1,21	-3,49	+0,79	197,77	-3,49	98,34	-12,3	133,0	-4,0	-21,2	+39	+5	-106	31

neben den direct aus den Wegcurven abgelesenen relativen Coordinaten mit niedergelegt.

In derselben Tabelle finden sich auch die auf das bewegliche Coordinatensystem bezogenen „relativen Geschwindigkeiten“ und

die Beschleunigungen des Gesamtschwerpunktes angegeben. Die auf den ruhenden Raum bezogenen „*absoluten Geschwindigkeiten*“ sind für die Bewegung in der Seitenrichtung und der verticalen Richtung genau dieselben wie die relativen; in der Gangrichtung sind dagegen die absoluten Geschwindigkeiten, welche sich auch in Tabelle 11 angeführt finden, alle um die constante mittlere Ganggeschwindigkeit grösser als die relativen. Da eine constante Geschwindigkeitsdifferenz keinen Einfluss auf die Werthe der Beschleunigungen ausüben kann, so gelten alle in Tabelle 11 niedergelegten Beschleunigungen auch ohne Weiteres für die gleichen Richtungen des ruhenden Raumes.

Ausserdem sind nun noch von besonderem Interesse die Momente, in denen entweder der Abstand von der Mittelebene oder die Geschwindigkeit, oder endlich die Beschleunigung für irgend eine Bewegungscomponente nach der einen oder anderen Richtung ein Maximum besitzt. Auch diese lassen sich ohne Mühe aus den Curven auf Tafel V, VI und VII ablesen. Man hat dabei insbesondere zu beachten, dass allen Maxima resp. Minima der Wegcurven Nullstellen bei den Geschwindigkeitscurven, und allen Maxima resp. Minima der letzteren Nullstellen bei den Beschleunigungscurven entsprechen. Die Diagramme geben für diese Momente direct die Zeit an, welche seit der ersten Bewegungsphase verstrichen ist. Will man nun aber wissen, zwischen welche der 31 Bewegungsphasen ein jeder derartiger Moment fällt, so muss man die Zeit in Nummern der Bewegungsphasen umrechnen. Dies lässt sich mit Hülfe der umstehenden Tabelle 12, in welcher mit zeitlichen Abständen von 0,01 sec die zu allen Zeiten von 0 sec bis 1,15 sec gehörenden Nummern aufgezeichnet sind. Die Decimalstellen an den einzelnen Nummern deuten an, zu welcher Zwischenphase die betreffende Zeit gehören würde, wenn man sich zwischen je zwei aufeinanderfolgende der 31 durch die Photographie festgelegten Bewegungsphasen noch 99 in gleichen Zeitabständen eingeschaltet denkt. Die Tabelle, welche gewissermassen die Umkehrung der Tabelle 8 auf Seite 82 darstellt, wird jedesmal zur Verwendung kommen müssen, wenn man irgend ein Ereigniss, für welches die von der ersten Bewegungsphase an verstrichene Zeit bekannt ist, in den durch die 31 Bewegungsphasen veranschaulichten Bewegungsvorgang auf den Tafeln X und XI des I. Theils dieser Untersuchung richtig einreihen will.

Tabelle zur Umrechnung der von der ersten Bewegungsphase an verstrichenen Zeiten in Nummern der Bewegungsphasen.

Tabelle 12.

Se- cunden	Nr.	Se- cunden	Nr.	Se- cunden	Nr.	Se- cunden	Nr.	Se- cunden	Nr.
0	1,00	0,25	7,52	0,50	14,05	0,75	20,57	1,00	27,09
0,01	1,26	0,26	7,78	0,51	14,31	0,76	20,83	1,01	27,35
0,02	1,52	0,27	8,04	0,52	14,57	0,77	21,09	1,02	27,61
0,03	1,78	0,28	8,31	0,53	14,83	0,78	21,35	1,03	27,87
0,04	2,04	0,29	8,57	0,54	15,09	0,79	21,61	1,04	28,13
0,05	2,30	0,30	8,83	0,55	15,35	0,80	21,87	1,05	28,39
0,06	2,57	0,31	9,09	0,56	15,61	0,81	22,13	1,06	28,66
0,07	2,83	0,32	9,35	0,57	15,87	0,82	22,39	1,07	28,92
0,08	3,09	0,33	9,61	0,58	16,13	0,83	22,65	1,08	29,18
0,09	3,35	0,34	9,87	0,59	16,39	0,84	22,92	1,09	29,44
0,10	3,61	0,35	10,13	0,60	16,65	0,85	23,18	1,10	29,70
0,11	3,87	0,36	10,39	0,61	16,91	0,86	23,44	1,11	29,96
0,12	4,13	0,37	10,65	0,62	17,18	0,87	23,70	1,12	30,22
0,13	4,39	0,38	10,91	0,63	17,44	0,88	23,96	1,13	30,48
0,14	4,65	0,39	11,18	0,64	17,70	0,89	24,22	1,14	30,74
0,15	4,91	0,40	11,44	0,65	17,96	0,90	24,48	1,15	31,00
0,16	5,17	0,41	11,70	0,66	18,22	0,91	24,74		
0,17	5,44	0,42	11,96	0,67	18,48	0,92	25,00		
0,18	5,70	0,43	12,22	0,68	18,74	0,93	25,26		
0,19	5,96	0,44	12,48	0,69	19,00	0,94	25,52		
0,20	6,22	0,45	12,74	0,70	19,26	0,95	25,79		
0,21	6,48	0,46	13,00	0,71	19,52	0,96	26,05		
0,22	6,74	0,47	13,26	0,72	19,78	0,97	26,31		
0,23	7,00	0,48	13,52	0,73	20,05	0,98	26,57		
0,24	7,26	0,49	13,78	0,74	20,31	0,99	26,83		
0,25	7,52	0,50	14,05	0,75	20,57	1,00	27,09		

P. P.	
Se- cunden	Nr.
0,001	0,03
0,002	0,05
0,003	0,08
0,004	0,10
0,005	0,13
0,006	0,16
0,007	0,18
0,008	0,21
0,009	0,23
0,010	0,26

In der folgenden Tabelle 13 finden sich nun die Momente für die Maxima der Abstände von der Mittelebene, der Geschwindigkeiten und Beschleunigungen für die verschiedenen Bewegungsrichtungen niedergelegt, und neben jeder Zeitangabe die mit Hülfe der voraufgehenden Tabelle 12 gewonnene Nummer der Bewegungsphase aufgeführt. Die letztere Angabe ist immer nur bis auf eine Decimalstelle gemacht, weil dies ungefähr der bei allen Versuchen erreichten Genauigkeit entspricht. Man hat sich demnach zwischen zwei auf einander folgende der 31 Bewegungsphasen nur 9 Zwischenphasen in gleichen Zeitabständen eingeschaltet zu denken; dann giebt die Decimalstelle die Nummer dieser Zwischenphase an.

Tabelle 13.

I. Versuch.

Zeit in sec.	Nummer der Be- wegungs- phase	Abstand von der Mittel- ebene in cm.	Zeit in sec.	Nummer der Be- wegungs- phase	Relative Geschwin- digkeit in cm sec ⁻¹	Zeit in sec.	Nummer der Be- wegungs- phase	Beschleu- nigung in cm sec ⁻²
-----------------	----------------------------------------	--------------------------------------------------	-----------------	----------------------------------------	-------------------------------------------------------------	-----------------	----------------------------------------	---------------------------------------------------

Bewegung in der Gangrichtung.

Vordere Maxima.

0,015	1,4	+ 0,33	0,396	11,3	+ 20,0	0,347	10,1	+ 330
0,498	14,0	+ 1,23	0,916	24,9	+ 17,4	0,880	24,0	+ 202
1,003	27,2	+ 0,91						

Hintere Maxima.

0,291	8,6	- 1,23	0,144	4,8	- 18,0	0,478	13,5	- 303
0,800	21,9	- 1,23	0,638	17,7	- 21,6	0,990	26,8	- 365
			1,130	30,5	- 24,3			

Bewegung in der Seitenrichtung.

Rechte Maxima.

0,547	15,3	+ 1,27	0,402	11,5	+ 11,3	0,345	10,0	+ 78
						0,918	25,0	+ 110

Linke Maxima.

0,045	2,2	- 1,31	0,878	23,9	- 12,6	0,509	14,3	- 129
1,036	28,0	- 1,35				0,835	22,8	- 92

Bewegung in der verticalen Richtung.

Obere Maxima.

0,141	4,7	+ 2,01	0,019	1,5	+ 30,1	0,505	14,2	+ 301
0,634	17,5	+ 2,07	0,513	14,4	+ 29,1	0,997	27,0	+ 239
1,130	30,5	+ 1,91	1,020	27,6	+ 25,3			

Untere Maxima (Minima).

0,391	11,2	- 2,15	0,240	7,3	- 29,9	0,140	4,7	- 620
0,891	24,3	- 1,87	0,731	20,1	- 25,3	0,635	17,6	- 727
						1,137	30,7	- 500

Tabelle 13.

II. Versuch.

Zeit in sec.	Nummer der Be- wegungs- phase	Abstand von der Mittel- ebene in cm.	Zeit in sec.	Nummer der Be- wegungs- phase	Relative Geschwin- digkeit in cm sec ⁻¹	Zeit in sec.	Nummer der Be- wegungs- phase	Beschleu- nigung in cm sec ⁻²
-----------------	----------------------------------------	--------------------------------------------------	-----------------	----------------------------------------	-------------------------------------------------------------	-----------------	----------------------------------------	---------------------------------------------------

Bewegung in der Gangrichtung.

Vordere Maxima.

0,063	2,7	+ 1,15	0,495	13,9	+ 15,2	0,363	10,5	+ 241
0,550	15,4	+ 1,19	0,950	25,8	+ 14,3	0,862	23,5	+ 173
1,030	27,9	+ 1,13						

Hintere Maxima.

0,338	9,8	- 1,13	0,205	6,4	- 12,0	0,030	1,8	- 250
0,834	22,8	- 0,88	0,690	19,0	- 10,4	0,532	14,9	- 250
			1,150	31,0	- 9,4	1,015	27,5	- 372

Bewegung in der Seitenrichtung.

Rechte Maxima.

0,593	16,5	+ 1,02	0,447	12,7	+ 10,4	0,407	11,6	+ 113
						0,959	26,0	+ 105

Linke Maxima.

0,105	3,7	- 0,98	0,921	25,0	- 10,1	0,561	15,6	- 114
1,080	29,2	- 0,99				0,873	23,8	- 78

Bewegung in der verticalen Richtung.

Obere Maxima.

0,197	6,1	+ 1,93	0,080	3,1	+ 26,1	0,043	2,1	+ 232
0,680	18,7	+ 1,73	0,563	15,7	+ 28,7	0,545	15,2	+ 312
			1,050	28,4	+ 31,0	1,030	27,9	+ 393

Untere Maxima (Minima).

0,441	12,5	- 1,95	0,297	8,8	- 27,0	0,193	6,0	- 430
0,934	25,4	- 1,71	0,784	21,5	- 23,3	0,698	19,2	- 442

Tabelle 13.

III. Versuch.

Zeit in sec.	Nummer der Be- wegungs- phase	Abstand von der Mittel- ebene in cm.	Zeit in sec.	Nummer der Be- wegungs- phase	Relative Geschwin- digkeit in cm sec ⁻¹	Zeit in sec.	Nummer der Be- wegungs- phase	Beschleu- nigung in cm sec ⁻²
-----------------	----------------------------------------	--------------------------------------------------	-----------------	----------------------------------------	-------------------------------------------------------------	-----------------	----------------------------------------	---------------------------------------------------

Bewegung in der Gangrichtung.

Vordere Maxima.

0,467	13,2	+ 1,34	0,359	10,4	+ 21,0	0,290	8,6	+ 229
0,932	25,3	+ 1,03	0,849	23,2	+ 11,1	0,723	19,9	+ 166

Hintere Maxima.

0,237	7,2	- 1,40	0,118	4,1	- 9,7	0,410	11,7	- 280
0,735	20,2	- 0,30	0,622	17,2	- 9,4	0,916	24,9	- 211
			1,097	29,6	- 13,5			

Bewegung in der Seitenrichtung.

Rechte Maxima.

0,515	14,4	+ 2,66	0,338	9,8	+ 17,7	0,303	8,9	+ 72
						0,852	23,2	+ 199

Linke Maxima.

—	—	—	0,833	22,7	- 23,5	0,424	12,1	- 139
						0,809	22,1	- 297

Bewegung in der verticalen Richtung.

Obere Maxima.

0,094	3,5	+ 1,74	0,461	13,0	+ 37,0	0,322	9,4	+ 486
0,582	16,2	+ 2,33	0,970	26,3	+ 23,4	0,823	22,5	+ 282
1,058	28,6	+ 2,04						

Untere Maxima (Minima).

0,329	9,6	- 2,63	0,207	6,4	- 29,4	0,100	3,6	- 520
0,819	22,4	- 1,58	0,679	18,7	- 32,8	0,587	16,3	- 380
						1,055	28,5	- 480

In den Tabellen 11 und 13 ist die Bewegung des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers in allen ihren Einheiten festgelegt. Diese Tabellen werden daher für alle weitergehenden Untersuchungen, welche sich auf die Bewegung des Gesamtschwerpunktes beim Gehen stützen, den Ausgangspunkt bilden müssen.

Zunächst sind dieselben dazu verwendet worden, die Projectionen der relativen Schwerpunktsbahn auf die drei Hauptebenen aufzuzeichnen. Für die Projection auf die Gangebene braucht man die ξ - und ζ -Coordinaten, während man zur Projection auf die zur Gangrichtung senkrechte Ebene die η - und ζ -Coordinaten, und endlich zur Projection auf die Horizontalebene die ξ - und η -Coordinaten zu verwenden hat. In dieser Weise sind die schon früher (Seite 73 ff.) genauer beschriebenen Bilder der oberen Reihe auf den Tafeln VIII, IX und X entstanden. Es ist hier nur noch zu erwähnen, dass sowohl an diesen Projectionen als an den entsprechenden Figuren 2 und 4 auf den Seiten 75 und 77 die Momente, in denen entweder ein Bein sich auf den Boden aufsetzt oder seine Schwingung beginnt, in der bisher üblichen Weise durch die Buchstaben R , L , S_r , S_l , und das Bogenstück, welches der Schwerpunkt während der Periode des gleichzeitigen Aufstehens beider Beine durchläuft, durch stärkere Zeichnung markirt worden sind. Ferner sind auch wieder der Anfang und das Ende der Periode des Aufstehens eines Fusses mit ganzer Sohle durch die Buchstaben A und E auf den Tafeln angedeutet worden.

Eine weitere Anwendung der Tabellen 11 und 13 besteht darin, dass mit ihrer Hülfe eine besonders zweckmässige Veranschaulichung der Geschwindigkeiten und Beschleunigungen des Gesamtschwerpunktes erzielt werden kann. Denkt man sich von einem beliebigen Punkte O des Raumes aus Strecken abgetragen, welche den auf einander folgenden Geschwindigkeiten des Gesamtschwerpunktes parallel sind und durch ihre Länge deren Grösse veranschaulichen, so liegen alle diese Strecken auf einer Kegelfläche, und ihre Endpunkte bilden eine Curve auf dem Kegelmantel. Diese Curve, welche nach HAMILTON den Namen „Hodograph“ führt, giebt nun nicht nur im Verein mit dem festen Punkte O des Raumes ein deutliches Bild von dem Verlaufe der relativen Geschwindigkeiten des Gesamtschwerpunktes, sondern sie ermöglicht auch eine genaue Orientirung über die Beschleuni-

gungen, welche der Schwerpunkt an den verschiedenen Stellen seiner Bahn im Raume besitzt.

Während nämlich der Gesamtschwerpunkt seine relative Bahn beschreibt, wird gleichzeitig der Endpunkt der Geschwindigkeitsstrecke den Hodographen mit bestimmter, im Allgemeinen fortwährend wechselnder Geschwindigkeit durchlaufen. Die Geschwindigkeit, welche dieser Punkt an jeder Stelle des Hodographen aufweist, giebt nun direct sowohl der Richtung als auch der Grösse nach die Beschleunigung an, die der Schwerpunkt an der entsprechenden Stelle seiner Bahncurve besitzt. Wäre die Bahn des Schwerpunktes eben, so würde auch der Hodograph eine ebene Curve darstellen. Der Umstand, dass die Schwerpunktsbahn doppelt gekrümmt ist, bedingt es dagegen, dass auch der Hodograph als Raumcurve erscheint. Der Hodograph kann daher, ebenso wie die Schwerpunktsbahn, hier nur durch seine Projectionen auf Ebenen zur Darstellung gebracht werden. Es liegt nun in der Natur der Sache, dass die Projection des Hodographen auf irgend eine Ebene den Hodographen für die Projection der Bewegung des Schwerpunktes auf dieselbe Ebene darstellt. Verschafft man sich daher die Projectionen des Hodographen auf die drei Hauptebenen, so geben dieselben im Verein mit den entsprechenden Projectionen der relativen Schwerpunktsbahn ein noch anschaulicheres Bild von dem Ablauf der ganzen Bewegung des Schwerpunktes als es die auf den Tafeln V, VI und VII aufgezeichneten Wegcurven, Geschwindigkeitscurven und Beschleunigungscurven vermögen; denn die Geschwindigkeit, mit welcher der Hodograph in einer Projection durchlaufen wird, giebt natürlich auch für diese Projection an jeder Stelle die Beschleunigung des Schwerpunktes sowohl der Richtung als der Grösse nach an.

Auf den Tafeln VIII, IX und X findet sich nun unter jeder Projection der relativen Bahn des Gesamtschwerpunktes die entsprechende Projection des Hodographen aufgezeichnet und mit den Marken R , L , S_r , S_l , A_r , A_l , E_r und E_l versehen. Bei absolut gleichmässigem Gange müsste der Hodograph der relativen Bewegung des Schwerpunktes eine geschlossene Raumcurve sein, welche während eines Doppelschrittes gerade einmal durchlaufen wird. Es würden sich daher in diesem idealen Falle auch die Projectionen des Hodographen auf die drei Hauptebenen nicht nur annähernd, wie es auf den Tafeln VIII, IX, X der Fall ist, sondern vollkommen genau

schliessen. Insbesondere würde die Projection auf die Gangebene nahezu die Form eines rechtwinkligen Dreiecks mit abgestumpften Ecken und verticaler Hypotenuse besitzen, welches während eines Doppelschrittes zweimal durchlaufen wird.

An den Hodographenprojectionen bestätigt man nun zunächst ohne Weiteres, dass die Verbindungsstrecke irgend eines Punktes des Hodographen mit dem festen Punkt O parallel der Tangente in dem entsprechenden Punkte der darüberstehenden Bahnprojection läuft. So ist z. B. die Verbindungsstrecke OR in der Projection des Hodographen auf die Gangebene nach vorn und unten gerichtet; dementsprechend verläuft auch die Projection der relativen Bahn des Schwerpunktes auf die Gangebene im Moment R nach vorn und unten. In der Projection auf die zur Gangrichtung senkrechte Ebene ist dieselbe Strecke des Hodographen nach rechts und unten gerichtet; in Folge dessen besitzt auch die Tangente im Punkte R der darüberstehenden Bahnprojection die Richtung nach rechts und unten. Man kann daher unter Benutzung der Hodographenprojectionen noch deutlicher als aus den Projectionen der Bahncurve erkennen, dass im Moment des Aufsetzens des rechten Beins auf den Fussboden der Schwerpunkt in seiner relativen Bewegung die Richtung nach vorn, rechts und unten besitzt. Auf dieselbe Weise ergibt sich, dass der Schwerpunkt im Moment des Aufsetzens des linken Beins gerade in der Bewegung nach vorn, links und unten begriffen ist. Eine rein horizontale, aber auf der einen oder anderen Seite nach aussen und vorn gehende Richtung besitzt der Schwerpunkt ungefähr in der Mitte der Periode des Aufstehens beider Beine auf dem Fussboden. Im Moment S_l verläuft die Richtung der Bewegung des Schwerpunktes nach vorn, rechts und oben, und im Moment S_r entsprechend nach vorn, links und oben. Alles dies wird ohne Weiteres aus den beiden ersten Projectionen des Hodographen erkannt und durch die dritte Projection auf die Horizontalebene bestätigt. Es wird an diesen Thatsachen auch nichts durch die Belastung des Menschen geändert, wie ein Blick auf Tafel X lehrt.

Weiterhin kann man nun an den Projectionen des Hodographen erkennen, dass in der Projection auf die Gangebene die Geschwindigkeit der Bewegung des Schwerpunktes im Moment des Aufsetzens eines Beins auf den Fussboden relativ klein ist. Sie ist vorher relativ gross gewesen im Moment 7 resp. 20 beim

I. Versuch, $8\frac{1}{2}$ resp. 21 beim II. Versuch und 6 resp. 19 beim III. Versuch. Dies sind aber nach Tabelle 9 auf Seite 82 gerade die Momente *E*, in denen das allein auf dem Boden aufstehende Bein beginnt, sich um eine Stelle des Fussballens abzuwickeln. Von da an nimmt die Geschwindigkeit in der Projection auf die Gangebene fortwährend an Grösse ab bis zum Aufsetzen des anderen Beins, und wächst dann wieder bis nach dem Moment des Aufsetzens des Fusses mit der ganzen Fusssohle. Dann nimmt die Geschwindigkeit in dieser Projection wieder ab, bis sie etwa am Ende des zweiten Drittels der Periode des Aufstehens mit ganzer Sohle wieder ein relatives Minimum erreicht hat, und darauf wieder bis zum Ende dieser Periode zunimmt. Dieses Beispiel möge genügen, um zu zeigen, wie man bei eingehendem Studium der Tafeln VIII, IX und X einen Ueberblick über das Verhalten der Geschwindigkeiten des Schwerpunktes in der Projection der Bewegung desselben auf die drei Hauptebenen gewinnen kann.

Von noch grösserem Interesse als die Geschwindigkeiten der projecirten Bewegung sind die absoluten Werthe der Gesamtgeschwindigkeit, welche der Gesamtschwerpunkt bei seiner relativen Bewegung an jeder Stelle seiner doppelt gekrümmten, geschlossenen Bahncurve besitzt. Auch diese Werthe lassen sich leicht aus Tabelle 11 für die 31 Bewegungsphasen ableiten. Man hat nur zu beachten, dass die Geschwindigkeiten in den drei Hauptrichtungen, welche sich in Tabelle 11 aufgezeichnet finden, drei zu einander rechtwinklige Componenten der Gesamtgeschwindigkeit darstellen. Man erhält daher nach dem für den Raum verallgemeinerten Satz vom Parallelogramm der Geschwindigkeiten die Gesamtgeschwindigkeit, indem man sich die Summe der Quadrate der drei Componenten für jede Bewegungsphase verschafft und daraus die Quadratwurzel zieht; denn die Gesamtgeschwindigkeit kann als Diagonale eines rechtwinkligen Parallelepipedes aufgefasst werden, bei welchem die drei in einer Ecke zusammenstossenden Kanten bezüglich gleich den Geschwindigkeiten in der Gangrichtung, der Seitenrichtung und der verticalen Richtung sind. Führt man diese Rechnung bei den drei Versuchen für jede der 31 Bewegungsphasen aus, so ergibt sich die Tabelle 14 (S. 116).

Mit Hülfe dieser Tabelle kann man sich nun wiederum durch ein Diagramm die Werthe der Geschwindigkeiten des Gesamt-

**Absolute Werthe der
Gesamtgeschwindigkeit der relativen Bewegung des Gesamtschwerpunktes in
cm sec⁻¹.**

Tabelle 14.

Nr.	I. Versuch	II. Versuch	III. Versuch
1	29,2	20,2	25,7
2	28,3	22,2	19,8
3	22,8	26,2	14,8
4	14,2	24,2	17,5
5	10,3	19,3	25,1
6	21,1	12,3	30,8
7	30,3	17,2	29,6
8	26,4	25,2	24,9
9	19,2	26,6	23,6
10	18,1	19,8	27,7
11	22,4	16,8	27,9
12	22,5	18,5	28,8
13	21,1	19,0	37,0
14	25,5	19,0	26,7
15	27,5	23,8	16,3
16	23,0	27,6	9,0
17	16,0	19,8	16,1
18	15,3	13,3	26,7
19	22,9	11,0	29,4
20	26,9	18,6	23,5
21	22,4	23,7	20,3
22	17,4	21,9	22,1
23	15,9	16,7	26,1
24	18,7	14,6	22,7
25	20,4	16,0	21,6
26	19,3	16,5	24,6
27	22,2	18,1	23,4
28	25,4	28,3	16,7
29	22,4	28,2	15,5
30	16,8	19,9	21,4
31	16,2	12,4	24,8

schwerpunktes für den ganzen Verlauf seiner relativen Bewegung veranschaulichen. Dies ist auf der linken Seite von Tafel XI geschehen. Gleichzeitig finden sich auch hier wieder die wichtigeren Momente des ganzen Bewegungsvorganges durch stärkere Verticalen hervorgehoben, damit man ohne Mühe die zu verschiedenen Versuchen gehörenden Diagramme mit einander vergleichen kann. Da die Werthe der Zeit hierbei von geringerem Interesse sind als die Zugehörigkeit der Geschwindigkeitswerthe zu den 31 Bewegungsphasen, so sind durch verticale, oben und unten nummerirte gerade Linien des Millimeternetzes in Abständen von je $\frac{1}{2}$ cm die Nummern der Bewegungsphasen auf den Abscissenaxen der Diagramme markirt, und an jeder Stelle der zugehörige Werth der Gesamtgeschwindigkeit als Ordinate in der Weise aufgetragen worden, dass der Geschwindigkeit von 1 cm sec⁻¹ eine Länge von 1 mm entspricht.

Diese Diagramme vermitteln nun im Verein mit den Projectionen der Bahncurve und des Hodographen auf den Tafeln VIII, IX und X eine klare Anschauung von den Geschwindigkeiten des Gesamtschwerpunktes. Während die letzteren Tafeln eine genaue Orientirung über die Richtung der Geschwindigkeiten und die Werthe ihrer Projectionen auf die drei Hauptebenen ermöglichen, geben die Diagramme auf Tafel XI Kenntniss von den Grössen der Gesamtgeschwindigkeit. Man erkennt z. B. aus diesen Diagrammen, welche wiederum

für die beiden ersten Versuche ziemlich genau übereinstimmen, dass das Wachsthum der absoluten Werthe der Geschwindigkeiten eine Periode besitzt, deren Dauer gleich der eines einfachen Schrittes ist;

denn von E_r an nimmt das Diagramm wieder denselben Verlauf wie von E_l an. Berücksichtigt man dagegen noch die Richtung der Geschwindigkeit, so wiederholen sich die gleichen Verhältnisse erst nach Ablauf eines Doppelschrittes. Innerhalb einer jeden Periode besitzt das Diagramm zwei sehr ausgesprochene Maxima und Minima. Das eine Maximum fällt genau mit dem Moment E zusammen, während das andere etwa am Ende des ersten Drittels der Periode des Aufstehens eines Fusses mit ganzer Sohle liegt. Das eine Minimum deckt sich ziemlich genau mit dem Moment des Aufsetzens eines Beins auf den Fussboden; das andere fällt an das Ende des zweiten Drittels der Periode des Aufstehens eines Fusses mit ganzer Sohle. Man sieht also, die Verhältnisse sind für die Gesamtgeschwindigkeit annähernd die gleichen wie für die Projection derselben auf die Gangebene. Ausserdem findet sich nun noch ein weniger ausgesprochenes Maximum vor, welches in die Periode des Aufstehens beider Beine nahe an das Ende desselben fällt. Und endlich lässt sich auch noch ein ebenfalls nur schwach ausgeprägtes Minimum erkennen, welches entweder direct am Anfang oder kurz vor dem Anfang der Periode des Aufstehens eines Beins mit ganzer Fusssohle liegt. Vergleicht man hiermit die Bilder auf Tafel VIII, IX und X, so erkennt man, dass der Schwerpunkt verhältnissmässig geringe Geschwindigkeit in seiner Bahn besitzt, wenn er sich entweder in der Nähe der höchsten oder der tiefsten Punkte derselben befindet und sich demnach annähernd horizontal bewegt. Dagegen nimmt er eine verhältnissmässig grosse Geschwindigkeit an, wenn seine Bewegung entweder nahezu vertical nach oben oder vertical nach unten gerichtet ist.

Für den Gang des belasteten Menschen gelten annähernd die gleichen Verhältnisse; es liegen hier nur die Grenzen, zwischen denen sich die absoluten Werthe der Gesamtgeschwindigkeit bewegen, etwas weiter aus einander.

Da die Diagramme auf Tafel XI eine sehr deutliche Sprache reden und viel schneller über alle Einzelheiten des Verhaltens der Geschwindigkeitswerthe Aufschluss geben, als es Worte vermögen, so soll an dieser Stelle nicht weiter auf die Deutung der Curven eingegangen werden, sondern vielmehr das Studium derselben empfohlen sein. —

Ausser über die Geschwindigkeiten geben nun die Projectionen der Hodographen auf den Tafeln VIII, IX und X Aufschluss über

die Beschleunigungen. Aus der Richtung der Hodographenprojectionen an den verschiedenen Stellen kann man unmittelbar die Richtung der Beschleunigung für die Projection der Bewegung des Schwerpunktes auf die betreffende Ebene erkennen.

Die Beschleunigung besitzt im Allgemeinen nicht die Richtung der Bewegung, wie es bei der Geschwindigkeit der Fall ist; dies findet nur dann statt, wenn die Bewegung geradlinig ist. Bei gekrümmter Bahn eines im Raume vollständig frei beweglichen Punktes weicht dagegen die Beschleunigung immer nach der Seite von der Bahntangente ab, nach welcher die Bahn concave Krümmung zeigt. Dies lässt sich ohne Weiteres aus den Figuren auf den Tafeln VIII, IX und X erkennen. Im Punkte R z. B. ist in der Projection auf die Gangebene die Bahntangente nach vorn und unten gerichtet; dabei zeigt die Bahncurve selbst eine nach vorn und oben gerichtete concave Krümmung. Dementsprechend verläuft die Tangente an die zugehörige Hodographenprojection, welche die Richtung der Beschleunigung angiebt, nach vorn und oben. Im Raume ist die Bahncurve des Schwerpunktes im Punkte R nach vorn, unten und rechts gerichtet und zeigt nach oben concave Krümmung. In Folge dessen weicht auch die Tangente an den Hodographen im Raume an der Stelle R nach oben von der Tangente an die Bahncurve ab. Diese Abweichung ist im Allgemeinen nicht so, dass die Richtung der Beschleunigung auf der Tangente der Bahn senkrecht steht, sondern beide durchkreuzen sich gewöhnlich unter einem spitzen oder stumpfen Winkel.

Man kann sich die Beschleunigung immer in zwei Componenten zerlegt denken, von denen die eine in die Tangente der Bahn fällt, während die andere darauf senkrecht steht. Dann geht die letztere stets durch den Krümmungsmittelpunkt der Bahn für die betreffende Stelle. Die erstere Componente nennt man „Tangentialbeschleunigung“, die letztere „Normalbeschleunigung“. Es stellt sich nun heraus, dass einer jeden der beiden Componenten eine bestimmte Rolle bei der Bewegung zufällt.

Die Tangentialbeschleunigung verändert allein die Geschwindigkeit der Bewegung des Schwerpunktes in seiner Bahn. Die Normalbeschleunigung dagegen ruft allein die Krümmung der Bahn hervor. Ist die letztere Componente gross, so wird auch die Krümmung an der betreffenden Stelle der Bahn verhältnissmässig stark sein; ist dagegen diese letztere Componente klein, so ist

die Bahn verhältnissmässig gestreckt. Bei geradliniger Bahn würde die Normalbeschleunigung den Werth Null besitzen. Natürlich hängt die Krümmung der Bahn ausserdem noch von der Grösse der Geschwindigkeit ab. Bei sehr grosser Geschwindigkeit wird dieselbe Normalbeschleunigung nur eine geringere Krümmung der Bahn hervorrufen können, als bei kleiner Geschwindigkeit. Ist die Geschwindigkeit constant, so ist die Tangentialbeschleunigung Null, und es besitzt dann die gesammte Beschleunigung eine zur Tangente an die Bahn senkrechte Richtung. Ist dagegen die Bewegung in der Bahn beschleunigt, so besitzt die Tangentialbeschleunigung eine endliche Grösse und verläuft in der Richtung der Bewegung. Ist dann gleichzeitig eine Normalbeschleunigung vorhanden, und also die Bahn gekrümmt, so bildet die gesammte Beschleunigung mit der Tangente einen nach der Seite der Bewegung hin spitzen Winkel. Findet dagegen Verzögerung der Bewegung statt, so verläuft die Tangentialbeschleunigung entgegengesetzt wie die Bewegung, und es bildet dann, sofern die Normalbeschleunigung nicht den Werth Null hat, die Gesammtbeschleunigung einen stumpfen Winkel mit der Tangente. Kennt man die Richtung der Gesammtbeschleunigung, so kann man schon allein hieraus das Grössenverhältniss zwischen Tangential- und Normalbeschleunigung bestimmen. Die Richtung der Gesammtbeschleunigung des Schwerpunktes lässt sich nun aus dem Verlauf der Hodographenprojectionen leicht erkennen. Man ist daher in der Lage, bei eingehendem Studium des durch die Projectionen auf die drei Hauptebenen vollkommen bekannten Hodographen

Absolute Werthe der Gesammtbeschleunigung der Bewegung des Gesammtschwerpunktes in cm sec^{-2} .

Tabelle 15.

Nr.	I. Versuch	II. Versuch	III. Versuch
1	188	220	215
2	172	330	234
3	221	166	310
4	341	175	350
5	452	228	234
6	289	430	145
7	182	346	216
8	227	225	305
9	283	218	426
10	393	290	358
11	216	303	256
12	245	243	484
13	364	240	194
14	392	315	376
15	204	403	306
16	203	259	381
17	391	267	373
18	355	286	286
19	228	420	147
20	86	253	270
21	182	135	260
22	219	201	334
23	251	238	283
24	275	238	223
25	230	195	258
26	283	229	188
27	394	355	220
28	191	439	404
29	215	225	361
30	337	260	161
31	445	284	109

das Grössenverhältniss der beiden Componenten der Beschleunigung anzugeben.

Es mag vorläufig an dieser Stelle nicht weiter hierauf eingegangen werden; es sollte nur damit auf eine weitere Verwendung des Hodographen hingewiesen sein.

Die Grösse der Gesamtbeschleunigung kann man nun ebenso wie die der Gesamtgeschwindigkeit aus den drei in Tabelle 11 angegebenen, zu einander rechtwinkligen, Componenten ableiten. Man hat zu diesem Zwecke wieder nur die Summe der Quadrate der Beschleunigungen in der Gangrichtung, Seitenrichtung und verticalen Richtung zu bilden und aus derselben die Quadratwurzel zu ziehen. Dies ist bei jedem der drei Versuche für die 31 Bewegungsphasen ausgeführt worden. Die Resultate dieser Berechnung finden sich in der Tabelle 15 (S. 119) niedergelegt.

Auch diese Grössen sind durch ein Diagramm auf der rechten Seite von Tafel XI in der gleichen Weise wie die absoluten Werthe der Gesamtgeschwindigkeit veranschaulicht worden. Dabei entspricht wie auf den Tafeln V, VI und VII der Beschleunigung von 1 cm sec^{-2} eine Länge von $\frac{1}{10} \text{ mm}$. Aus den Diagrammen, welche wieder für sich selbst sprechen, ist ersichtlich, dass die Gesamtbeschleunigung fast genau an allen den Stellen Maxima besitzt, an denen die Gesamtgeschwindigkeit relativ klein ist, und umgekehrt.

Während die Geschwindigkeiten, welche in Tabelle 14 niedergelegt sind, nur für die relative Bewegung des Gesamtschwerpunktes gelten, indem bei der absoluten Bewegung noch die mittlere Ganggeschwindigkeit als Componente in der Gangrichtung hinzutritt, haben diese Werthe der Gesamtbeschleunigung Geltung sowohl für die relative als auch für die absolute Bewegung des Schwerpunktes.

IV. Ueber die äusseren Kräfte.

Die äusseren Kräfte, welche während des Gehens auf den menschlichen Körper einwirken, sind, wie schon in der Einleitung aus einander gesetzt worden ist, den Beschleunigungen des Gesamtschwerpunktes proportional. Misst man die Kräfte durch Gewichte, drückt sie also im terrestrischen Maasssystem aus, so würde eine äussere Kraft dann gleich dem Gewicht des menschlichen Körpers zu setzen sein, wenn sie dem Gesamtschwerpunkt eine Beschleunigung von $981,11 \text{ cm sec}^{-2}$ ertheilte; denn dies ist die für Leipzig geltende Beschleunigung der Schwere. Ist dagegen die Beschleunigung des Schwerpunktes grösser oder kleiner als die Beschleunigung der Schwere, so wird auch die äussere Kraft, von welcher diese Beschleunigung verursacht ist, grösser oder kleiner als das Gewicht des Körpers sein. Bezeichnet man die Maasszahl für die äussere Kraft mit K , die für die zugehörige Beschleunigung mit γ und die Maasszahl für das Gewicht des Körpers mit G , so hat man zur Bestimmung von K die Proportion

$$K : G = \gamma : 981,11,$$

woraus folgt

$$K = \frac{G}{981,11} \cdot \gamma.$$

Das Gewicht unseres Versuchsindividuums betrug $58,7 \text{ kg}$ und das Gewicht des Militärgepäcks $23,27 \text{ kg}$. Drückt man auch die äusseren Kräfte in kg aus, so ist beim I. und II. Versuch für G die Zahl $58,7$, beim III. Versuch dagegen die Zahl $81,97$ einzusetzen. Man erhält daher im vorliegenden Falle zur Bestimmung der äusseren Kräfte aus den Beschleunigungen γ des Gesamtschwerpunktes die Formeln

$$\text{für den I. und II. Versuch: } K = 0,05983 \cdot \gamma$$

$$\text{und für den III. Versuch: } K = 0,08355 \cdot \gamma$$

Diese Formeln gelten sowohl für die Resultante der sämtlichen äusseren Kräfte als auch für die Componentensummen in

den drei Hauptrichtungen; man hat nur im ersten Falle für γ die in Tabelle 15 auf Seite 119 niedergelegten Werthe der Gesamtbeschleunigung, im letzten Falle dagegen die in Tabelle 11 auf Seite 104 bis 106 angegebenen Componenten der Gesamtbeschleunigung für die drei Hauptrichtungen einzusetzen.

Es empfiehlt sich nicht, direct die Grösse der Resultante der äusseren Kräfte zu ermitteln, da man dann noch nicht über die Richtung derselben orientirt ist. Der Umstand, dass, wie schon in der Einleitung angeführt worden ist, die wirksamen äusseren Kräfte sich gerade auf die drei Hauptrichtungen in bestimmter Weise vertheilen, legt es vielmehr nahe, die drei Componentensummen der äusseren Kräfte für die Gangrichtung, die Seitenrichtung und die verticale Richtung auszurechnen, zumal man mit Hülfe derselben auch zugleich die Richtung der Resultante der äusseren Kräfte ermitteln kann.

Diese Berechnung ist nun unter Zugrundelegung der Tabelle 11 für die 31 Bewegungsphasen sämtlicher Versuche nach den umstehenden Formeln ausgeführt worden. Die Resultate derselben finden sich in Tabelle 16 auf der folgenden Seite niedergelegt.

In der Gangrichtung kommen in Frage die in diese Richtung fallende Componente der Reibungskraft und der Luftwiderstand. Während die Reibungskraft in manchen Bewegungsphasen in der Gangrichtung selbst, in anderen in der entgegengesetzten Richtung wirkt, besitzt der Luftwiderstand in unserem Falle stets die Richtung von vorn nach hinten. Der Effect des letzteren ist daher ein solcher, dass die Componentensummen für die Gangrichtung einen kleineren absoluten Werth als die Reibungskraft besitzen, wenn sie positives Vorzeichen haben, dass sie dagegen einen grösseren absoluten Werth aufweisen, wenn sie mit negativem Vorzeichen versehen sind. So lange noch keine genaueren Untersuchungen über die Grösse des Luftwiderstandes angestellt sind, ist es jedoch nicht möglich, den Antheil der Componentensummen festzustellen, welcher der in der Gangrichtung wirkenden Reibungskraft zufällt. Man wird aber nicht fehl gehen, wenn man den Luftwiderstand im vorliegenden Falle, wo das Versuchsindividuum im geschlossenen Raume ging, im Verhältniss zu den anderen äusseren Kräften überhaupt als sehr gering anschlägt. Man kann daher wenigstens mit gewisser Annäherung die für die Gangrichtung berechneten Componentensummen direct als Maass für

Tabelle 16.

Componentensummen der äusseren Kräfte in kg.

Nr.	I. Versuch			II. Versuch			III. Versuch			Nr.
	Gang- richtung ¹⁾	Seiten- richtung ²⁾	Verticale Richtung ³⁾	Gang- richtung	Seiten- richtung	Verticale Richtung	Gang- richtung	Seiten- richtung	Verticale Richtung	
1	- 7,48	+ 0,78	+ 8,38	- 8,14	+ 2,99	+ 9,93	- 9,19	0	- 15,46	1
2	- 5,50	+ 1,97	- 8,50	-14,54	+ 2,45	+ 13,16	- 6,10	+ 0,08	- 18,55	2
3	- 3,53	+ 2,63	- 12,44	- 9,75	+ 1,79	+ 0,78	- 3,26	+ 0,25	- 25,73	3
4	- 1,38	+ 0,84	- 20,34	- 6,52	+ 1,20	- 8,14	- 0,25	+ 0,42	- 29,24	4
5	+ 0,42	- 0,60	- 27,04	- 3,95	+ 0,72	- 13,04	+ 3,43	+ 0,84	- 19,22	5
6	+ 1,91	- 0,48	- 17,17	- 1,02	+ 0,42	- 25,73	+ 7,77	+ 1,50	- 9,19	6
7	+ 3,53	+ 1,56	- 10,17	+ 1,91	+ 0,36	- 20,64	+ 12,70	+ 2,59	+ 12,53	7
8	+ 6,04	+ 2,87	+ 11,79	+ 4,85	+ 0,66	- 12,56	+ 17,13	+ 4,09	+ 18,38	8
9	+ 11,32	+ 4,01	+ 11,97	+ 8,74	+ 1,26	+ 9,57	+ 16,71	+ 5,85	+ 30,91	9
10	+ 19,62	+ 4,67	+ 12,03	+ 13,52	+ 2,45	+ 10,59	+ 5,85	- 1,67	+ 29,24	10
11	+ 3,65	+ 1,97	+ 12,27	+ 13,04	+ 4,85	+ 11,61	- 12,95	- 7,94	+ 15,04	11
12	- 7,06	- 1,38	+ 12,80	+ 4,73	+ 4,67	+ 12,92	- 20,88	- 11,70	+ 32,58	12
13	- 16,03	- 4,01	+ 14,18	- 2,69	- 1,20	+ 14,06	- 13,03	- 9,61	0	13
14	- 13,76	- 7,18	+ 17,59	- 9,99	- 3,71	+ 15,56	- 8,52	- 7,52	- 29,24	14
15	- 7,36	- 5,03	- 8,38	- 14,66	- 5,68	+ 18,31	- 5,93	- 5,60	- 24,23	15
16	- 3,59	- 2,27	- 11,37	- 9,03	- 5,38	- 11,37	- 3,43	- 4,43	- 31,33	16
17	- 1,32	- 1,02	- 23,33	- 5,15	- 2,33	- 14,96	- 0,75	- 4,09	- 30,91	17
18	+ 0,72	- 0,60	- 21,24	- 2,27	- 0,72	- 16,93	+ 2,59	- 4,09	- 23,39	18
19	+ 2,63	- 1,08	- 13,34	0	- 0,42	- 25,13	+ 7,77	- 4,51	+ 8,36	19
20	+ 4,43	- 2,09	- 1,50	+ 2,33	- 0,78	- 14,96	+ 13,79	- 5,85	+ 16,88	20
21	+ 6,28	- 3,41	+ 8,20	+ 4,79	- 1,56	- 6,28	+ 10,69	- 8,94	+ 16,71	21
22	+ 8,14	- 4,97	+ 8,97	+ 7,30	- 2,45	+ 9,27	+ 6,43	- 16,13	+ 21,89	22
23	+ 10,41	- 5,38	+ 9,39	+ 9,75	- 3,71	+ 9,69	+ 1,34	+ 12,53	+ 20,05	23
24	+ 12,09	+ 0,72	+ 11,13	+ 9,39	- 4,43	+ 9,75	- 8,69	+ 10,95	+ 12,28	24
25	- 1,38	+ 6,58	+ 12,03	+ 5,09	- 0,12	+ 10,47	- 17,55	+ 7,94	+ 9,69	25
26	- 10,59	+ 4,01	+ 12,62	- 1,20	+ 6,22	+ 12,15	- 12,95	+ 5,68	+ 6,77	26
27	- 18,25	+ 4,43	+ 14,24	- 11,07	+ 4,01	+ 17,65	- 7,52	+ 3,84	- 16,29	27
28	- 9,57	+ 4,55	- 4,31	- 12,27	+ 2,93	+ 23,03	- 4,09	+ 2,26	- 33,42	28
29	- 5,38	+ 2,63	- 11,37	- 5,68	+ 2,39	- 11,97	- 1,59	+ 1,34	- 30,08	29
30	- 1,68	+ 1,20	- 20,04	- 2,33	+ 1,62	- 15,32	+ 0,92	+ 0,75	- 13,37	30
31	+ 1,38	+ 0,36	- 26,56	- 0,12	+ 0,78	- 16,99	+ 3,26	+ 0,42	- 8,86	31

die in der Gangrichtung wirkenden Componenten der Reibungskraft auffassen.

In der Seitenrichtung wirkt überhaupt keine andere äussere Kraft als die in diese Richtung fallende Componente der Reibungs-

1) nach vorn positiv. 2) nach rechts positiv. 3) nach oben positiv.

Werthe des normalen Gegendruckes des Bodens bezüglich des von unseren Füßen normal gegen den Fussboden ausgeübten Druckes in kg.

Tabelle 17.

Nr.	I. Versuch	II. Versuch	III. Versuch
1	67,08	68,63	66,51
2	50,20	71,86	63,42
3	46,26	59,48	56,24
4	38,36	50,56	52,73
5	31,66	45,66	62,75
6	41,53	32,97	72,78
7	48,53	38,06	94,50
8	70,49	46,14	100,35
9	70,67	68,27	112,88
10	70,73	69,29	111,21
11	70,97	70,31	97,01
12	71,50	71,62	114,55
13	72,88	72,76	81,97
14	76,29	74,26	52,73
15	50,32	77,01	57,74
16	47,33	47,33	50,64
17	35,37	43,74	51,06
18	37,46	41,77	58,58
19	45,36	33,57	90,33
20	57,20	43,74	98,85
21	66,90	52,42	98,68
22	67,67	67,97	103,86
23	68,09	68,39	102,02
24	69,83	68,45	94,25
25	70,73	69,17	91,66
26	71,32	70,85	88,74
27	72,94	76,35	65,68
28	54,39	81,73	48,55
29	47,33	46,73	51,89
30	38,66	43,38	68,60
31	32,14	41,71	73,11

kraft. Der Luftwiderstand ist hier deshalb auf alle Fälle zu vernachlässigen, weil es in der Seitenrichtung nicht zu grossen Geschwindigkeiten kommt. Es gelten daher mit noch grösserer Annäherung die in Tabelle 16 niedergelegten Componentensummen für die Seitenrichtung direct als Werthe für die seitlich wirkende Componente der Reibungskraft.

In der verticalen Richtung kann man natürlich ebenfalls vom Luftwiderstande absehen. Dagegen kommen nun hier immer noch zwei Kräfte in Frage, nämlich der normale Gegendruck des Bodens und die Schwere. Da die letztere constant und bekannt ist, so kann man auf sehr einfache Weise aus der in die verticale Richtung fallenden Componentensumme der äusseren Kräfte für jede der 31 Bewegungsphasen die Grösse des normalen Gegendruckes des Bodens berechnen. Da die Schwerkraft nach unten wirkt, also negativ zu rechnen ist, so braucht man das Gewicht des Körpers nur zu den in Tabelle 16 niedergelegten verticalen Componentensummen zu addiren, um die Werthe des normalen Gegendruckes zu erhalten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Falle des III. Versuchs das Gewicht des belasteten Körpers von 81,97 kg in Rechnung zu ziehen ist. Die Resultate dieser für alle drei Versuche und alle 31 Bewegungsphasen ausgeführten Rechnung finden sich in der nebenstehenden Tabelle 17 niedergelegt.

Da der normale Gegendruck entgegengesetzt gleich ist dem normal gegen den Fussboden durch unsere Beine ausgeübten Druck, so geben die Zahlen der Tabelle 17 zugleich die Werthe dieses

Druckes an; es ist dabei nur zu beachten, dass der letztere die Richtung von oben nach unten besitzt, also negativ zu rechnen ist.

Es ist schliesslich noch von Interesse, die grössten und kleinsten Werthe des normalen Druckes gegen den Fussboden zu kennen. Dieselben lassen sich mit Hülfe der Tabelle 13 auf Seite 109 bis 111 leicht berechnen, in welcher unter anderen die hierzu erforderlichen Maximal- und Minimalwerthe der Beschleunigung des Gesamtschwerpunktes in verticaler Richtung aufgezeichnet sind. Es ergeben sich dann die folgenden extremen Werthe des normalen Druckes:

Maxima und Minima des normalen Druckes gegen den Fussboden in kg.

Tabelle 18.

I. Versuch		II. Versuch		III. Versuch	
Nr.	Druck	Nr.	Druck	Nr.	Druck
Maxima.					
14,2	76,71	2,1	72,58	9,4	122,58
27,0	72,94	15,2	77,37	22,5	105,53
		27,9	82,21		
Minima.					
4,7	21,61	6,0	32,97	3,6	38,52
17,6	15,20	19,2	32,26	16,3	50,22
30,7	28,78			28,5	41,87

Um eine Vorstellung von dem Verhalten des Bodendruckes während des Gehens zu bekommen, sind die Werthe desselben durch Diagramme auf Tafel XII veranschaulicht worden. Diese Diagramme sind unter Benutzung der Tabellen 17 und 18 in ganz gleicher Weise wie die Diagramme auf Tafel XI construiert worden; dabei findet sich eine Kraft von 1 kg durch eine Länge von 1 mm dargestellt. Zum Vergleich mit dem Gewicht des Körpers ist dasselbe durch eine Horizontallinie besonders angegeben worden.

Man erkennt aus diesen Diagrammen, dass beim Gang ohne Belastung in dem Moment *E*, in welchem der allein auf dem Boden aufstehende Fuss gerade beginnt, sich vom Boden abzuwickeln, der Druck nahezu gleich dem Gewicht des Körpers ist. Er steigt aber darauf ziemlich schnell auf eine grössere Höhe,

auf der er sich lange Zeit, bis hinein in die Periode des Aufstehens des anderen Fusses mit ganzer Sohle, annähernd constant erhält. Zuletzt wird er sogar noch merklich grösser, um dann aber ziemlich schnell abzufallen, so dass er in der zweiten Hälfte der Periode des Aufstehens des Fusses mit ganzer Sohle beim I. Versuch bis unter die Hälfte, beim II. Versuch nahezu bis zur Hälfte des Körpergewichts herabgesunken ist. Es ist zu beachten, dass in diesem Moment gerade der Schwerpunkt am höchsten steht, wie ein Blick auf die Tafeln VIII, IX und X lehrt. Auf der geringen Höhe bleibt der Druck nur einen Moment und wächst dann rasch wieder an, so dass er schon am Ende der Periode des Aufstehens mit ganzer Fusssohle sich wieder bis zum Körpergewicht vergrössert hat.

Beim Gang mit Belastung zeigt sich dasselbe charakteristische Verhalten; nur führt der Druck hier auch Schwankungen in der Periode des Aufstehens beider Beine aus.

Wie die Werthe der Tabellen 17 und 18 nicht nur für den Gegendruck des Bodens, sondern auch für den von unseren Füßen gegen den Boden ausgeübten Normaldruck Geltung haben, so kann man auch, wenn man vom Luftwiderstand absieht, die Componentensummen für die Gangrichtung und Seitenrichtung in Tabelle 16 als Werthe für die in diese beiden Richtungen fallenden Componenten des von unseren Beinen gegen den Boden ausgeübten Druckes auffassen. Man hat dabei nur zu berücksichtigen, dass die entsprechenden Componenten der Reibungskraft zwar an Grösse diesen Druckcomponenten gleich sind, aber entgegengesetzte Richtung besitzen; demnach wären die sämtlichen Vorzeichen umzukehren. Thut man dies, so hat man in den Zahlen der Tabelle 16 für die Gangrichtung und Seitenrichtung und denen der Tabelle 17 für die verticale Richtung die Componenten des Gesamtdruckes, welcher von unseren Beinen gegen den Fussboden ausgeübt wird. Da dieser Druck durch die Thätigkeit unserer Muskeln im Verein mit der Schwere hervorgebracht wird, so hat man die Kenntniss desselben nöthig, wenn man in die Thätigkeit der Muskeln beim Gehen einen Einblick gewinnen will.

Rückblick.

In dem vorliegenden II. Theil der Untersuchung über den Gang des Menschen ist das für die Mechanik des Gehens wichtige Problem der Bewegung des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers behandelt worden. Es ist nicht nur die doppelt gekrümmte Bahn festgestellt worden, welche der Schwerpunkt während eines Doppelschrittes im Raume beschreibt, sondern es finden sich auch die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen abgeleitet, welche derselbe an den verschiedenen Stellen seiner Bahn besitzt. Dabei wurde sowohl für die Ableitung der Resultate als auch im Interesse der anschaulicheren Darstellung derselben die Bewegung des Schwerpunktes in drei Componenten zerlegt, deren Richtungen auf einander senkrecht stehen. Die eine Bewegungscomponente besitzt die Gangrichtung, die zweite die zur Gangebene senkrechte Richtung (Seitenrichtung) und die dritte die verticale Richtung.

Unter den drei Bewegungscomponenten nimmt die erste eine besondere Stellung ein. Während der Schwerpunkt, und ebenso jeder andere Punkt des Körpers, in der Seitenrichtung und der verticalen Richtung beim Gehen periodische Bewegungen ausführt, deren Schwingungsdauer in dem einen Falle gleich der doppelten, im anderen gleich der einfachen Schrittdauer ist, schreitet er in der Gangrichtung immer weiter fort. Er legt dabei während eines Schrittes einen Weg zurück, welcher gleich der Schrittlänge ist. Diese Bewegung in der Gangrichtung ist nun aber keine gleichförmige; die Geschwindigkeit schwankt periodisch in ihrer Grösse zwischen zwei Grenzen hin und her. Versteht man unter mittlerer Geschwindigkeit des Ganges diejenige, bei welcher während der Dauer eines Schrittes in gleichförmiger Bewegung gerade die Schrittlänge zurückgelegt würde, so ist die thatsächlich vorhandene Geschwindigkeit des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers in der Gangrichtung zum Theil grösser, zum Theil aber

auch kleiner als diese mittlere Ganggeschwindigkeit. Denkt man sich einen Raum, welcher in der Richtung des Ganges mit der mittleren Ganggeschwindigkeit gleichmässig selbst mit fortschreitet, und bezieht die Bewegung des Gesamtschwerpunktes auf diesen Raum, so führt der Schwerpunkt in dem bewegten Raume auch in der Gangrichtung eine periodische Bewegung aus. Da die Bewegungscomponenten der beiden anderen Richtungen für den bewegten Raum dieselben sind wie für den ruhenden, so beschreibt der Gesamtschwerpunkt relativ zu dem mit der mittleren Ganggeschwindigkeit fortschreitenden Raume eine geschlossene doppelt gekrümmte Raumcurve, welche er während eines Doppelschrittes gerade einmal durchläuft (vgl. Figur 2 bis 5). Könnte man die Bewegung des menschlichen Gesamtschwerpunktes beim Gehen direct wahrnehmen, so würde ein neben dem gehenden Menschen etwa in einem Wagen mit der mittleren Ganggeschwindigkeit gleichmässig fortbewegter Beobachter den Schwerpunkt die geschlossene Raumcurve beschreiben sehen.

Mit Hülfe der doppelt gekrümmten Bahncurve für die relative Bewegung des Schwerpunktes kann man sich nun leicht auch eine klare Anschauung von der absoluten Bewegung desselben im ruhenden Raume bilden. Man braucht sich zu diesem Zwecke nur vorzustellen, dass der Gesamtschwerpunkt mit der ihm zukommenden variablen Geschwindigkeit die geschlossene Raumcurve durchläuft, während gleichzeitig die letztere mit der mittleren Ganggeschwindigkeit in der Gangrichtung gleichmässig fortbewegt wird.

Die Componenten der Geschwindigkeit, mit welcher der Schwerpunkt in seiner relativen Bewegung die geschlossene Bahn durchläuft, sind für die Seitenrichtung und die verticale Richtung die gleichen wie bei der absoluten Bewegung im ruhenden Raume. Die Geschwindigkeitscomponente in der Gangrichtung ist indess in jedem Moment für den ruhenden Raum um die constante mittlere Ganggeschwindigkeit grösser als für den bewegten. Die Componenten der Beschleunigung sind dagegen für die geschlossene Raumbahn der relativen Bewegung sämtlich genau dieselben wie für die wirkliche Bahn des Gesamtschwerpunktes im ruhenden Raume. Es empfiehlt sich daher, an Stelle der absoluten Bewegung des Schwerpunktes die relative der eingehenden Untersuchung zu unterwerfen, da hierbei die Excursionen nach allen drei Dimen-

sionen gering sind. Dieser Weg ist in der vorliegende Arbeit eingeschlagen worden.

Eine genaue und eingehende Kenntniss der Bewegung des Schwerpunktes eines Körpers ist nun für die Erforschung des ganzen Bewegungsvorganges von grosser Wichtigkeit. Sie lässt nämlich unter anderem einen Schluss auf die Richtung und Intensität der äusseren Kräfte zu, welche beim Gehen thätig sind. Nach einem bekannten Satze der Dynamik bewegt sich der Schwerpunkt eines Körpers oder eines Systems von Körpern, auf welche beliebige innere und äussere Kräfte einwirken, stets so, als ob alle Massen in ihm vereinigt wären und alle äusseren Kräfte direct an ihm selbst angriffen. Die inneren Kräfte üben keinen Einfluss auf die Bewegung des Schwerpunktes aus, weil sie immer paarweise einander entgegengesetzt gleich sind.

Als äussere Kräfte wirken beim Gehen die Schwere, der normale Gegendruck des Fussbodens, die Reibung am Boden und der Luftwiderstand. Diese Kräfte theilen sich in bestimmter Weise in die Rolle, den Gesamtschwerpunkt des menschlichen Körpers fortzubewegen. Für die Bewegung in der Gangrichtung kommen in Betracht die in diese Richtung fallende Componente der Reibung, welche überhaupt als Gegenkraft gegen die Bewegung des Fusses in horizontaler Richtung, und der Luftwiderstand, welcher als Gegenkraft gegen die Bewegung des ganzen Körpers aufgefasst werden kann. Die Reibung ist, so lange sie den Fuss am Ausgleiten hindert, gleich der Horizontalcomponente der Kraft, mit welcher der Fuss gegen den Boden drückt; der Luftwiderstand ist dagegen abhängig von der Geschwindigkeit der Fortbewegung. Die Bewegung des Gesamtschwerpunktes in der Seitenrichtung wird fast ausschliesslich durch die in diese Richtung fallende Reibungscomponente hervorgebracht; denn da es in seitlicher Richtung nicht zu grossen Geschwindigkeiten kommt, so spielt der im Wesentlichen von der Geschwindigkeit abhängende Luftwiderstand hier nur eine sehr geringe Rolle. Die verticale Bewegung des Gesamtschwerpunktes endlich ist ein Resultat des Zusammenwirkens von Schwere einerseits und normalem Gegendruck des Fussbodens andererseits.

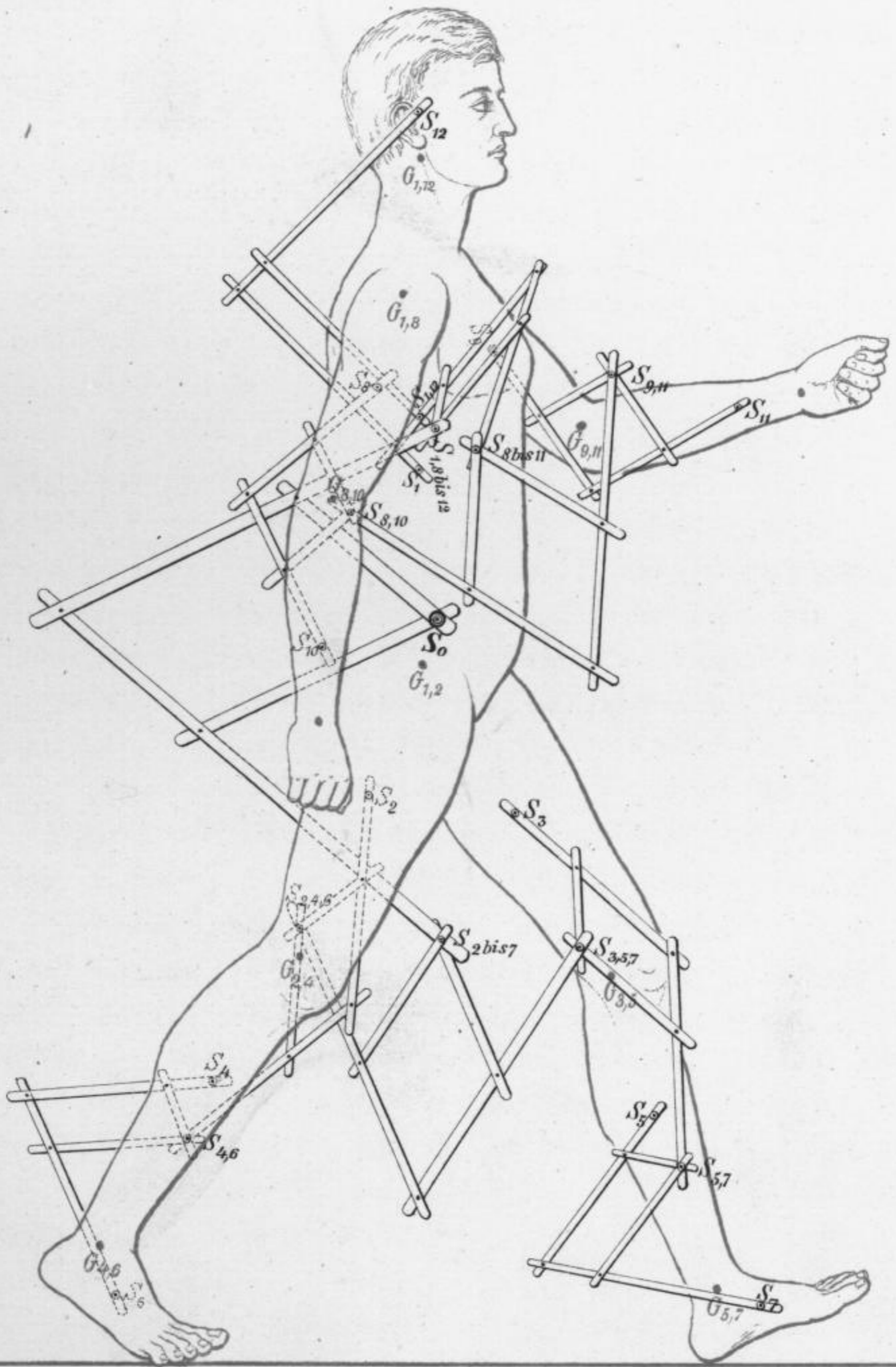
Von diesen äusseren Kräften können wir willkürlich mittelst unserer Muskeln den normalen Gegendruck des Fussbodens und die Reibungskraft innerhalb gewisser Grenzen variiren; denn beide

hängen ab von dem durch unsere Beine auf den Boden ausgeübten Druck. Dadurch sind wir überhaupt erst in den Stand gesetzt, zu gehen, und unserem Körper sowohl die Richtung als auch die Geschwindigkeit des Ganges aufzuzwingen.

Mit Hülfe der Beschleunigungen, welche der Gesamtschwerpunkt in jedem Moment nach den drei Richtungen erfährt, kann man die Grössen des normalen Gegendruckes des Bodens und der Componenten der Reibungskraft berechnen, sofern man den, zunächst zwar nicht genau bekannten, aber beim Gange im geschlossenen Raume im Verhältniss zu den übrigen äusseren Kräften jedenfalls nicht sehr beträchtlichen Luftwiderstand vernachlässigt. Dies ist in der Arbeit ausgeführt worden.

Endlich wird die Kenntniss von Gegendruck und Reibungskraft weiterhin den Ausgangspunkt für die Beurtheilung der Thätigkeit der hauptsächlich beim Gehen in Betracht kommenden Muskelgruppen bilden können. Allerdings wird man sich zu diesem Zwecke erst noch mit Hülfe der räumlichen Coordinaten der Gelenkmittelpunkte eine eingehende Kenntniss von den während eines Doppelschrittes stattfindenden Gelenkbewegungen verschaffen müssen. Dies soll den Gegenstand eines späteren Theiles der Untersuchung des menschlichen Ganges bilden. —

Die Arbeit zerfällt in vier Abschnitte. In einem ersten Abschnitt sind die verschiedenen Methoden auseinandergesetzt worden, nach denen man die Schwerpunktsbahn bestimmen kann. Es lassen sich hierbei zwei principiell verschiedene Wege einschlagen. Man geht entweder von den Einzelschwerpunkten der Glieder aus, oder man ermittelt den Gesamtschwerpunkt mit Hülfe der Hauptpunkte der einzelnen Abschnitte des menschlichen Körpers. Beide Wege sind ausführlich dargelegt worden. In einem zweiten Abschnitt ist nun die Berechnung der Coordinaten des Gesamtschwerpunktes für alle 31 Bewegungsphasen eines jeden der drei Versuche durchgeführt worden. Ein dritter Abschnitt handelt dann von der Ableitung der Geschwindigkeiten und Beschleunigungen des Gesamtschwerpunktes. Im vierten und letzten Abschnitt sind endlich die Componenten der äusseren Kräfte berechnet worden, welche während des Gehens auf den menschlichen Körper einwirken.



Gelenkmechanismus, welcher den Gesamtschwerpunkt und die Schwerpunkte verschiedener Abschnitte des menschlichen Körpers selbstthätig angiebt.

Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig.



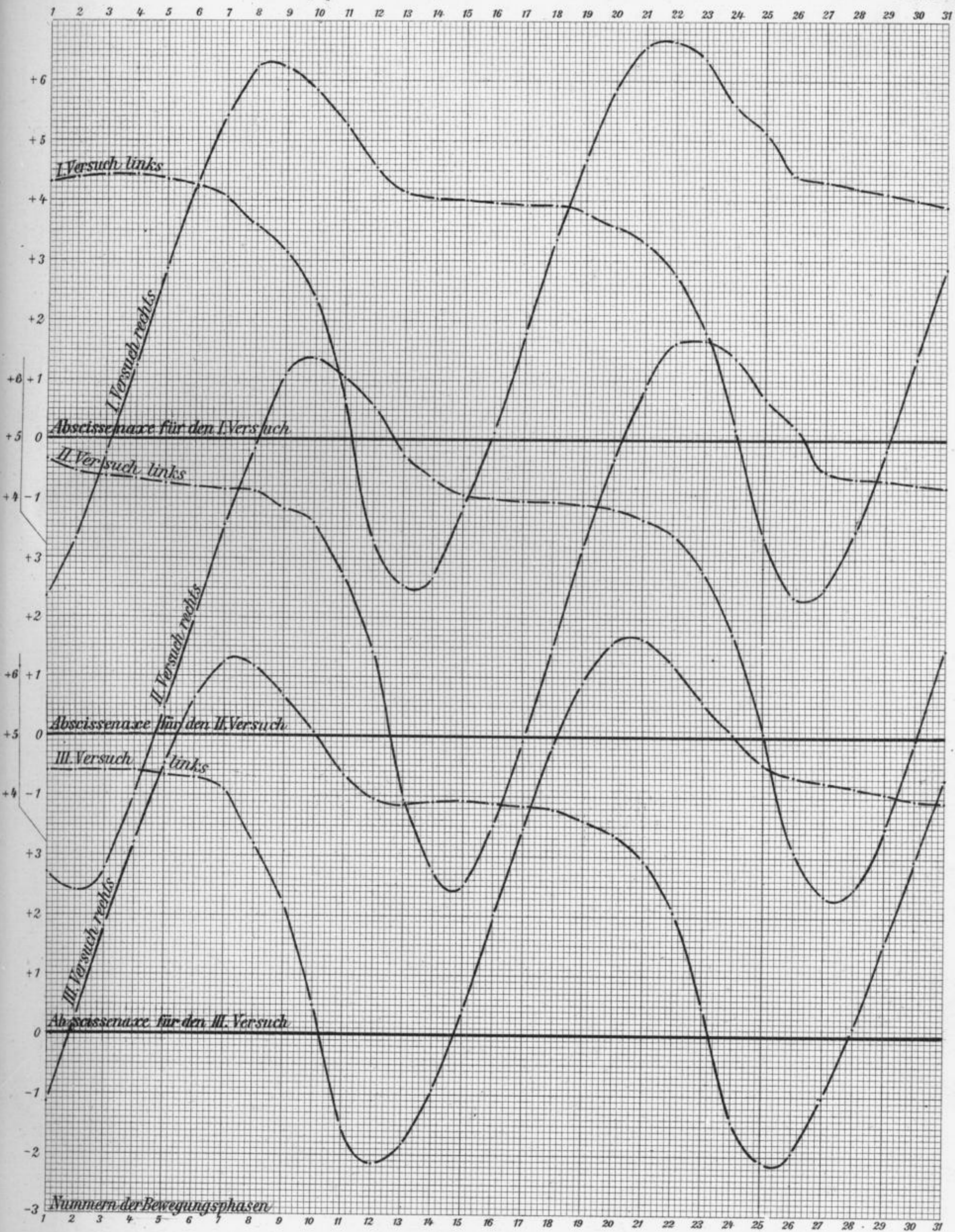


Diagramme für die Differenz der x -Coordinaten des Fußschwerpunktes und Mittelpunktes des I. Fussgelenk's.

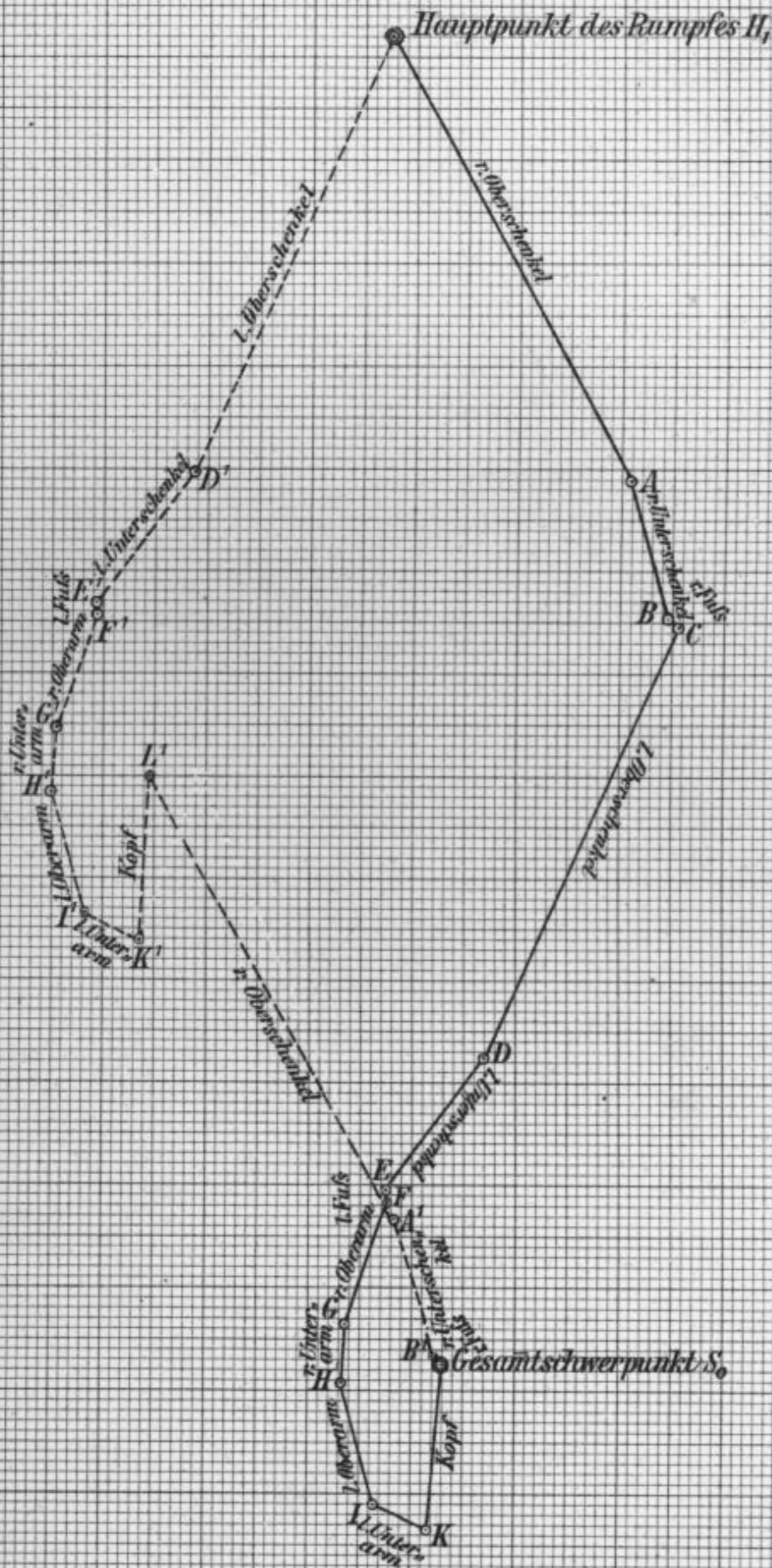
Lith Anst. v. E. A. Funke, Leipzig.





Projection auf die Gangebene.

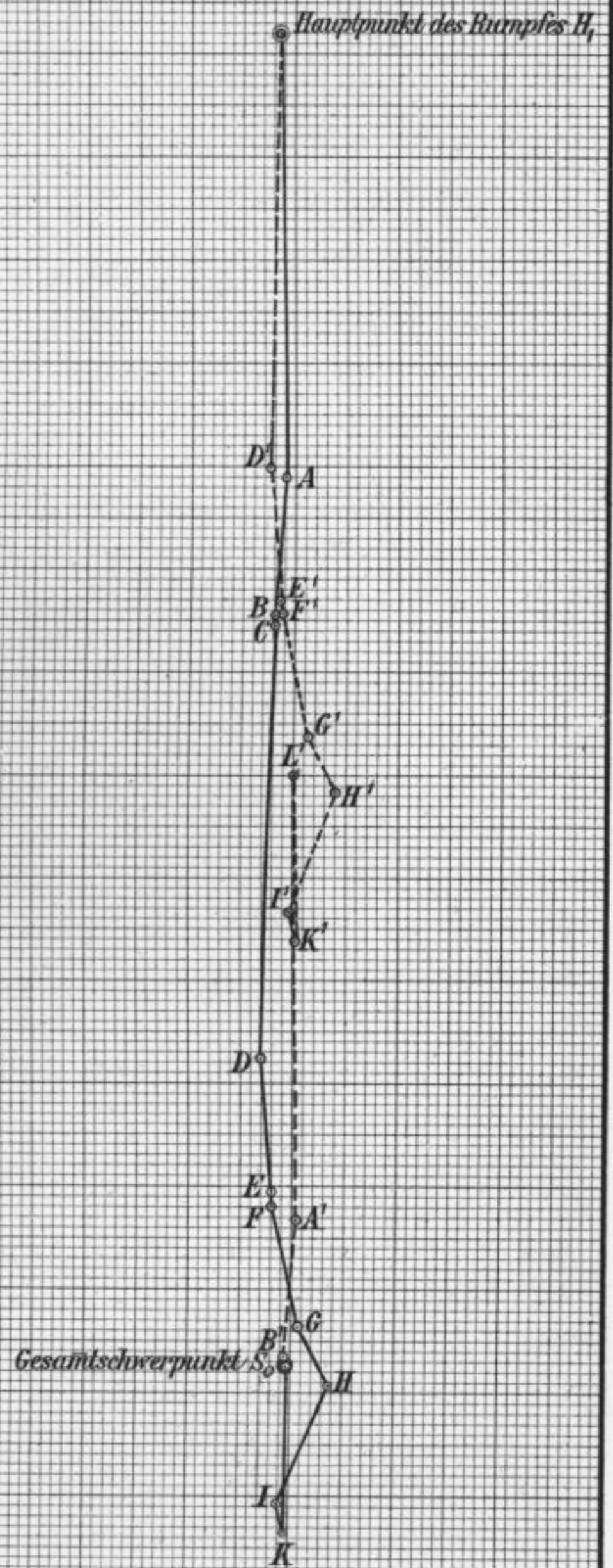
(Ansicht von rechts.)



→ Gangrichtung

Projection auf die zur Gangrichtung senkrechte Ebene.

(Ansicht von hinten.)

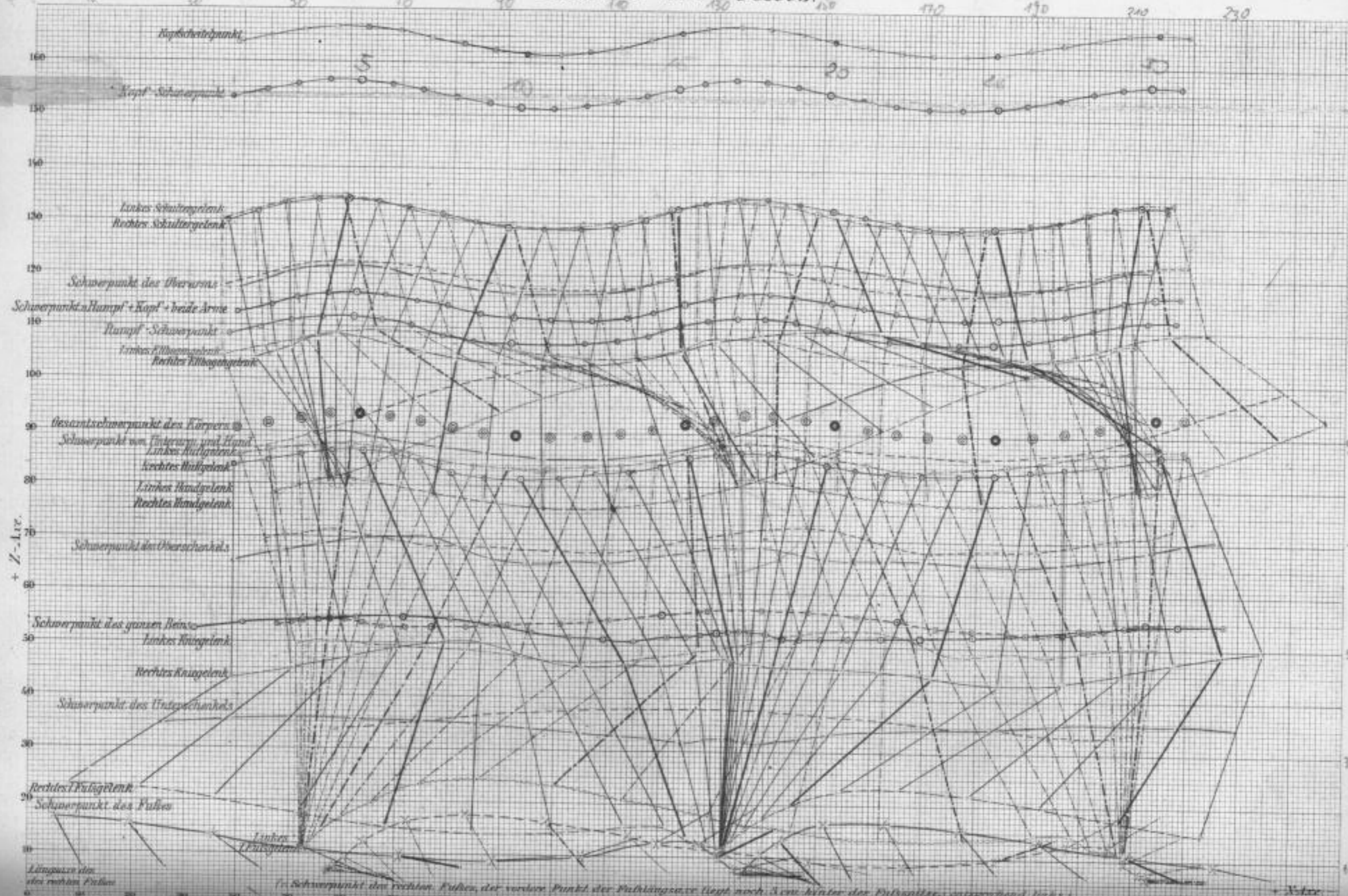


Construction des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers mit Hilfe der Hauptstrecken in natürlicher Grösse. (Bewegungsphase N^o 11 des I. Versuchs.)

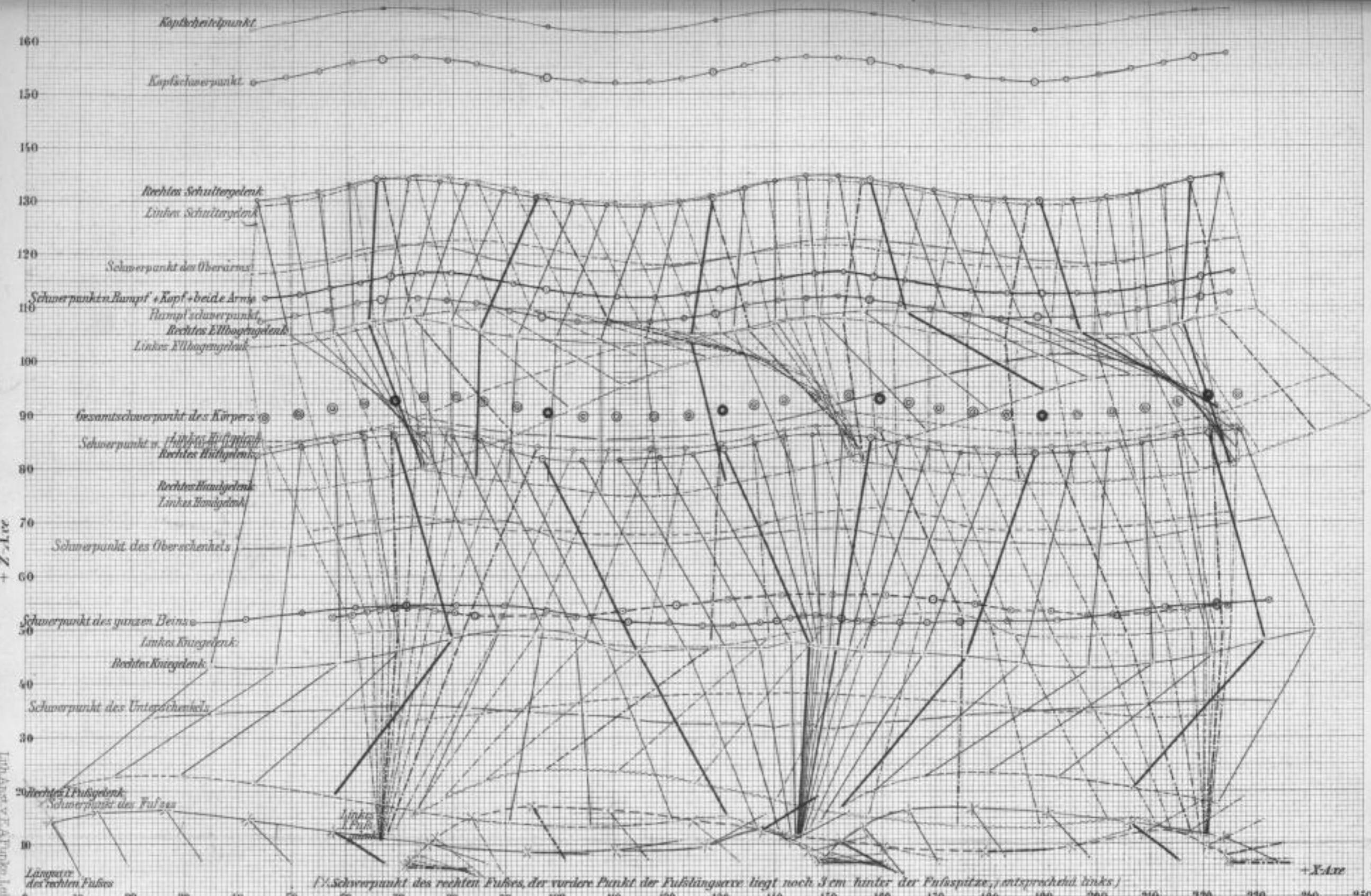
Lith Anst. v. E. A. Funke, Leipzig.

90





II Versuch



Projection der 31 Bewegungsphasen auf die Gangebene mit eingetragenen Einzelschwerpunkten (rot), Systemsschwerpunkten (blau) und dem Gesamtsschwerpunkt des Körpers (⊙).

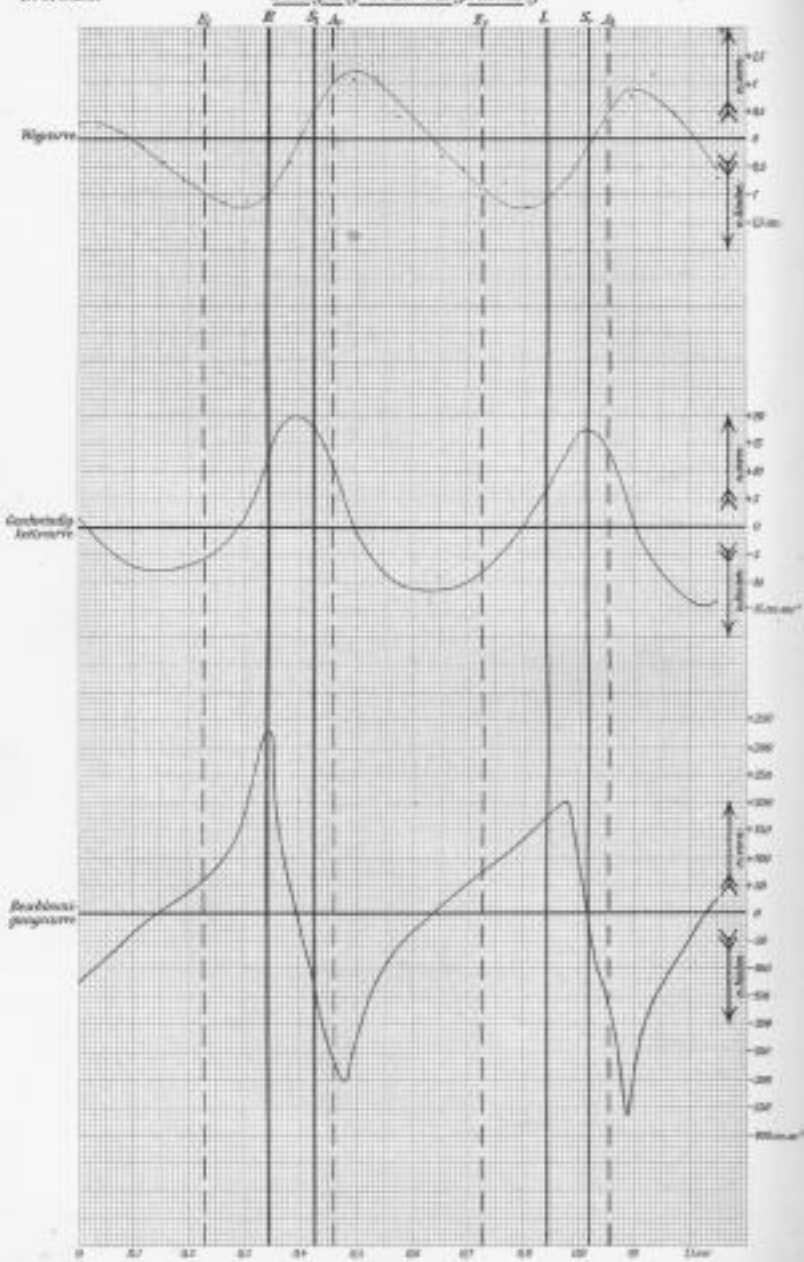
Abhandl. d. S. Ges. d. Wiss. mathem. u. Bd. XVI

Tab. III

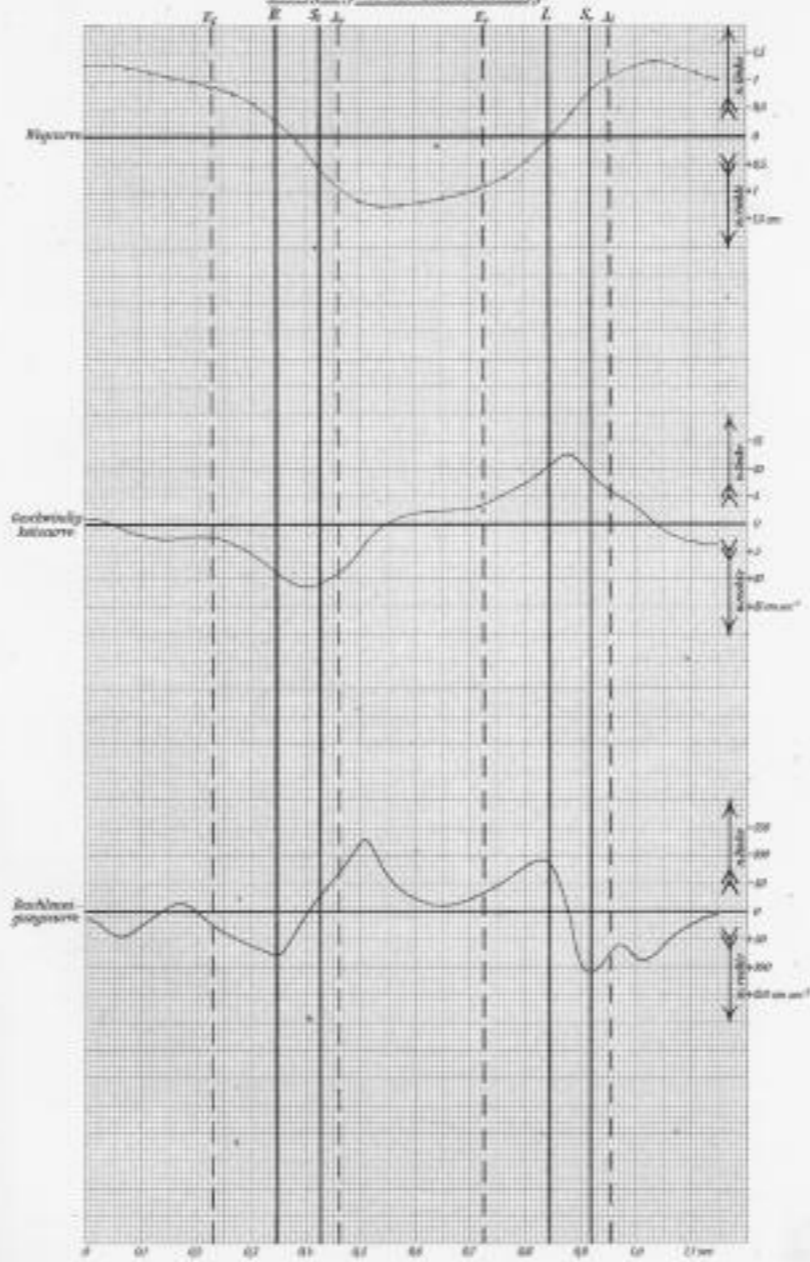


I. Versuch

Bewegung in der Gangrichtung.



Bewegung in der Seitenrichtung.



Bewegung in der vertikalen Richtung.

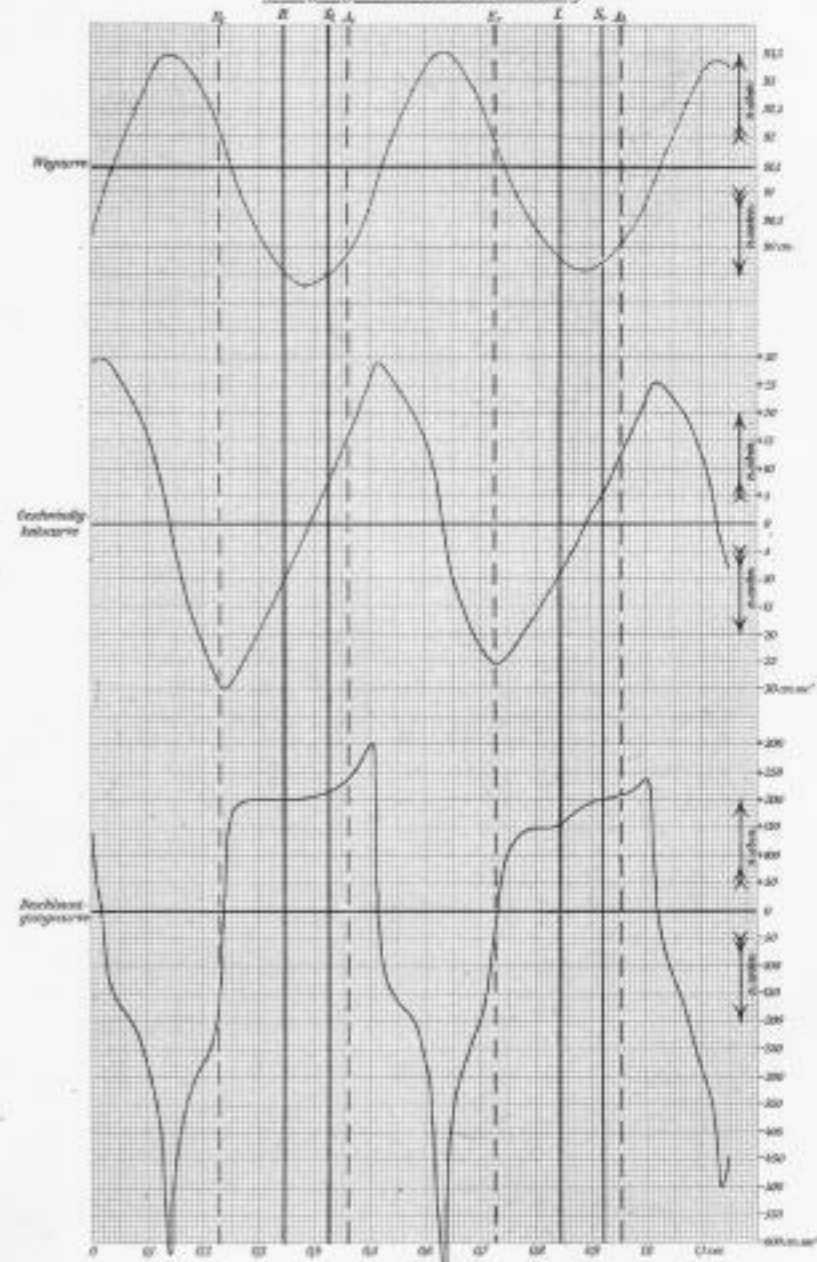


Diagramme für die Bewegung des Gesamtschwerpunktes des menschlichen Körpers beim Gang ohne Belastung.

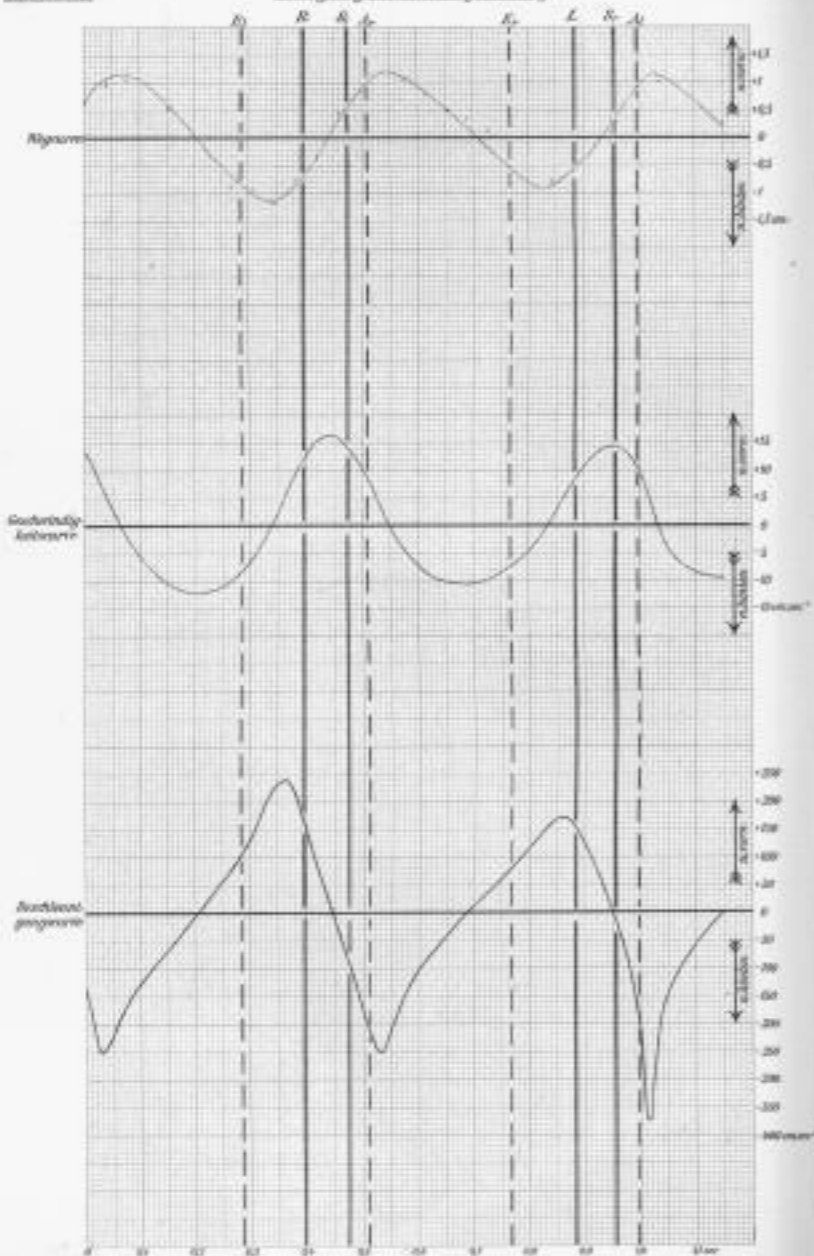
125. 2000 v. J. Photo. Leipzig



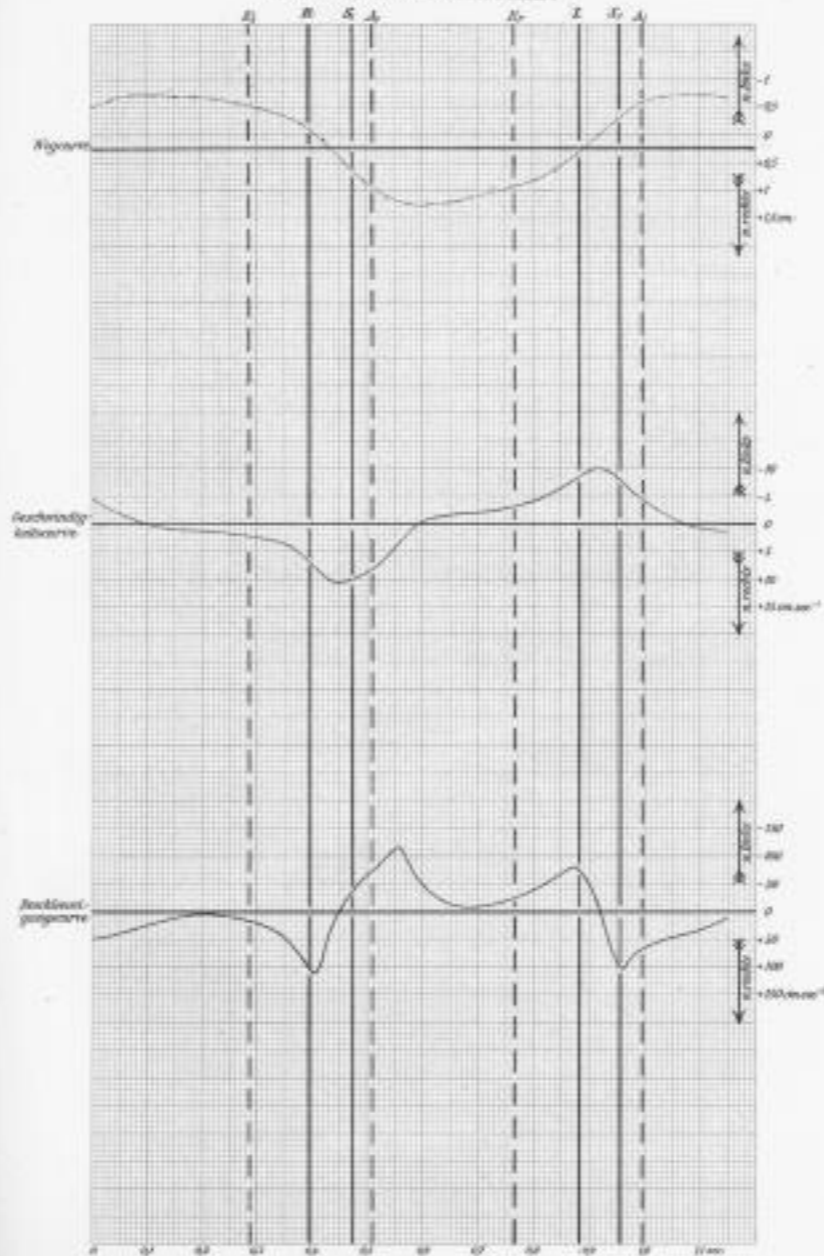


Versuch

Bewegung in der Gangrichtung



Bewegung in der Seitenrichtung



Bewegung in der vertikalen Richtung

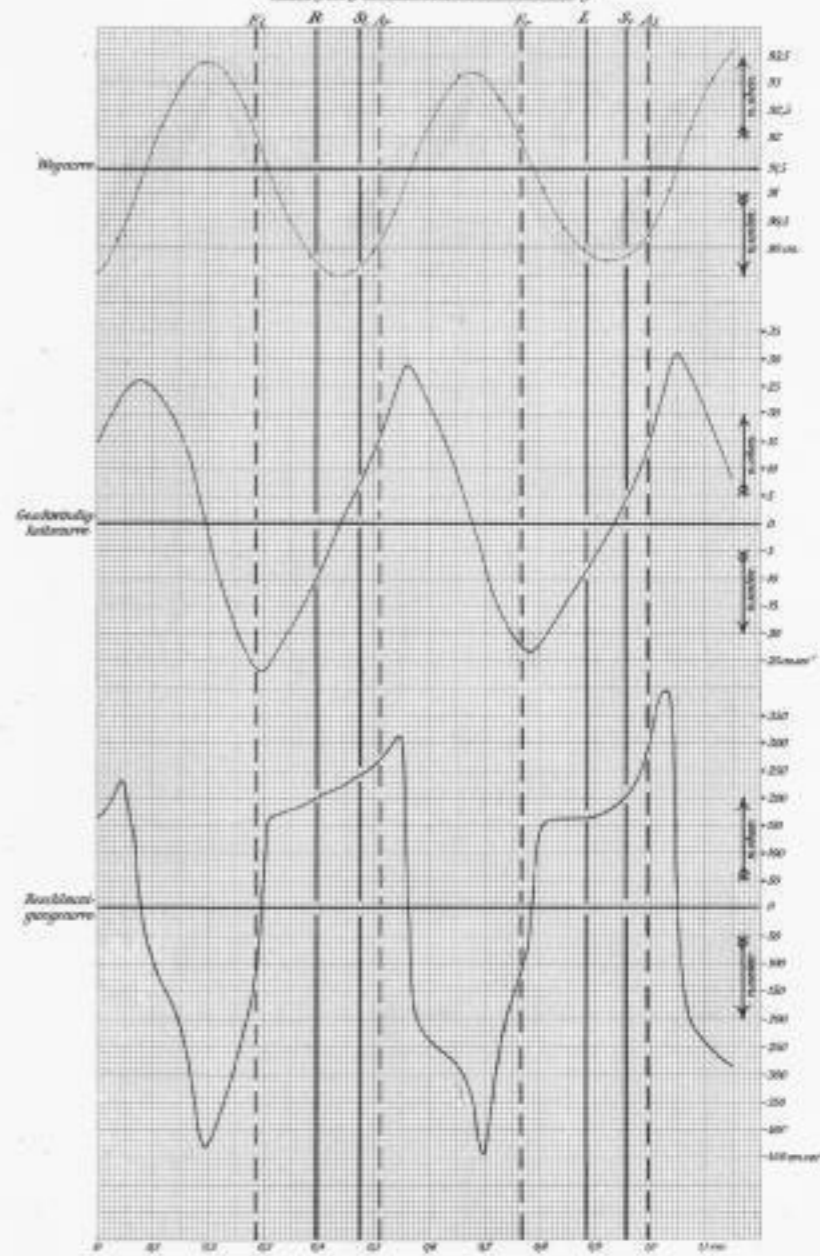


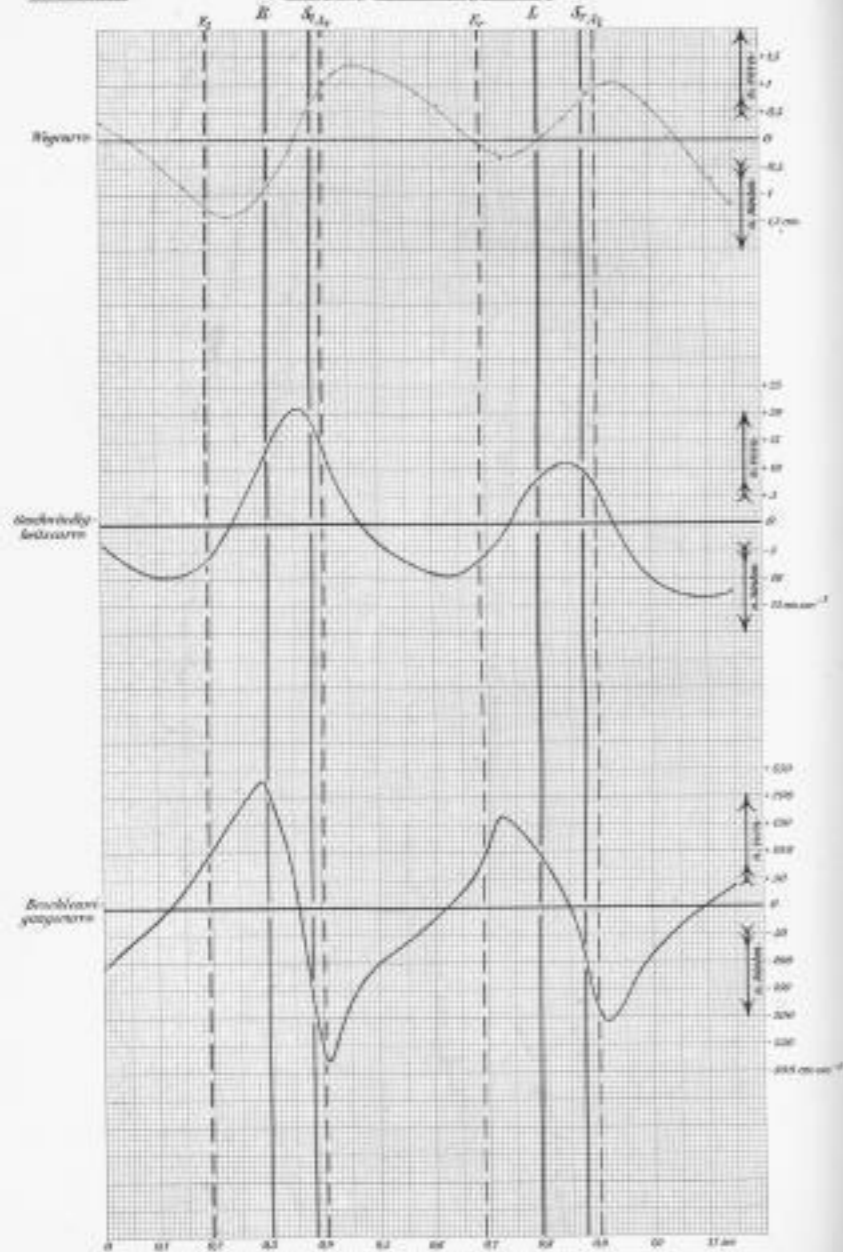
Diagramme für die Bewegung des Gesäßschwerpunktes des menschlichen Körpers beim Gang ohne Belastung.

Lfd. Nr. 148. Pflüger (1904)

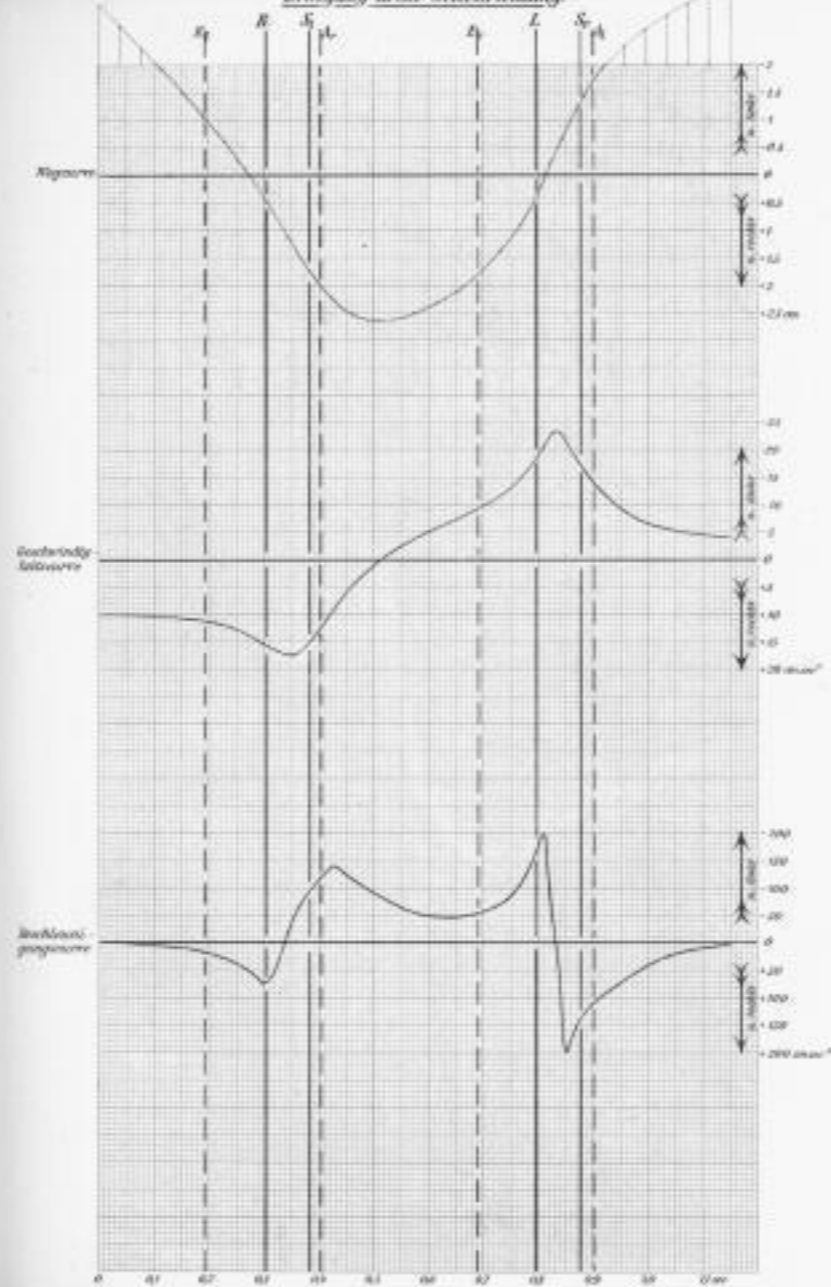


III. Versuch

Bewegung in der Gangrichtung



Bewegung in der Seitenrichtung



Bewegung in der vertikalen Richtung

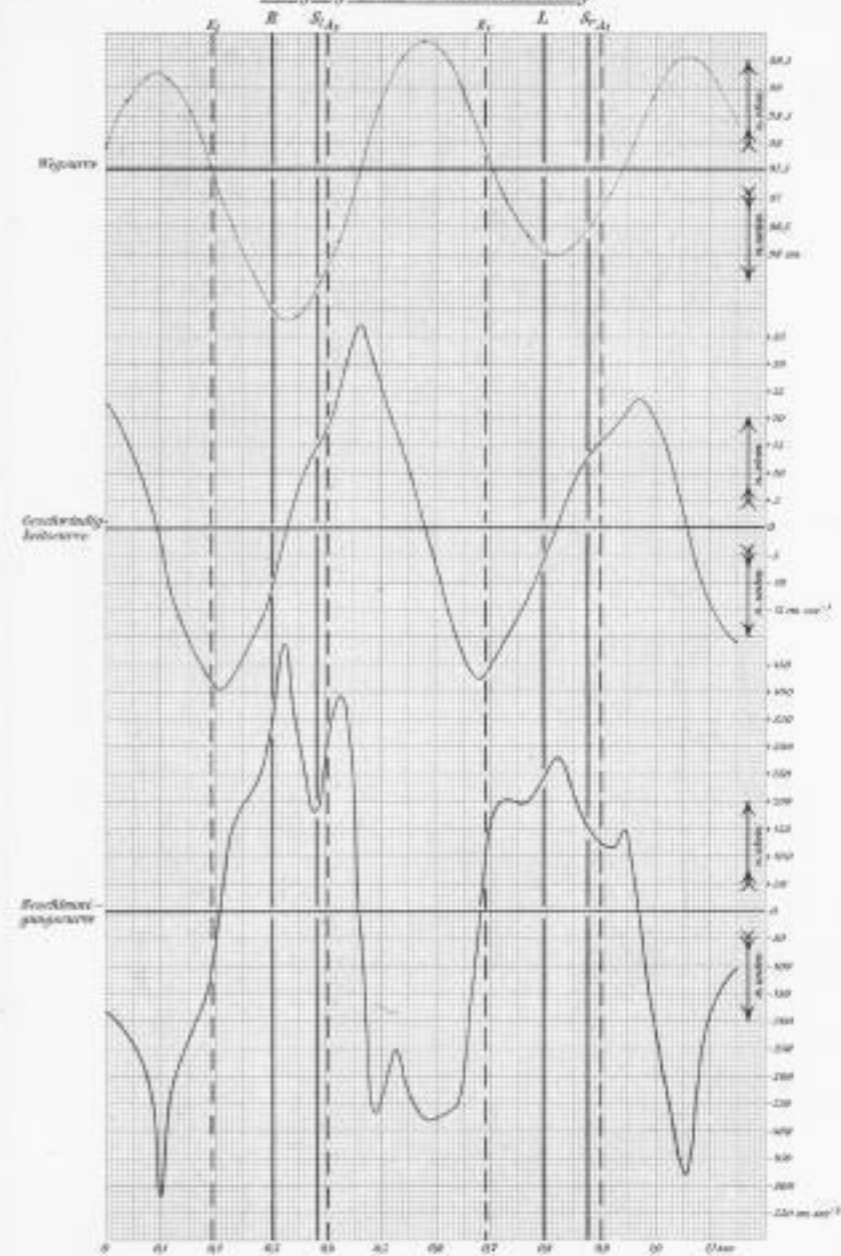
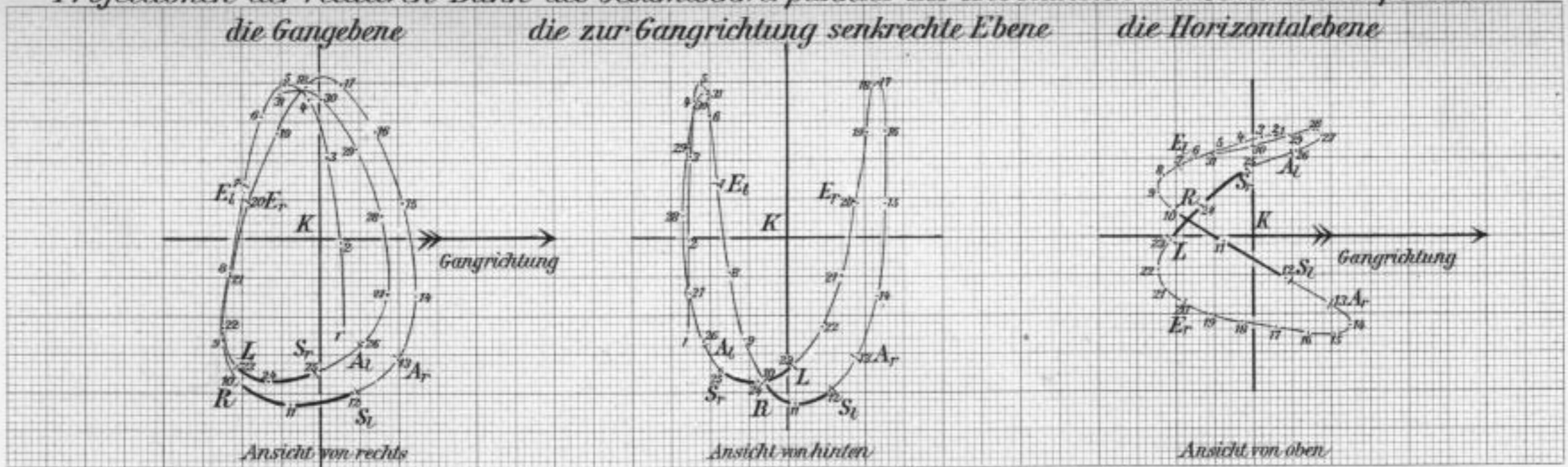


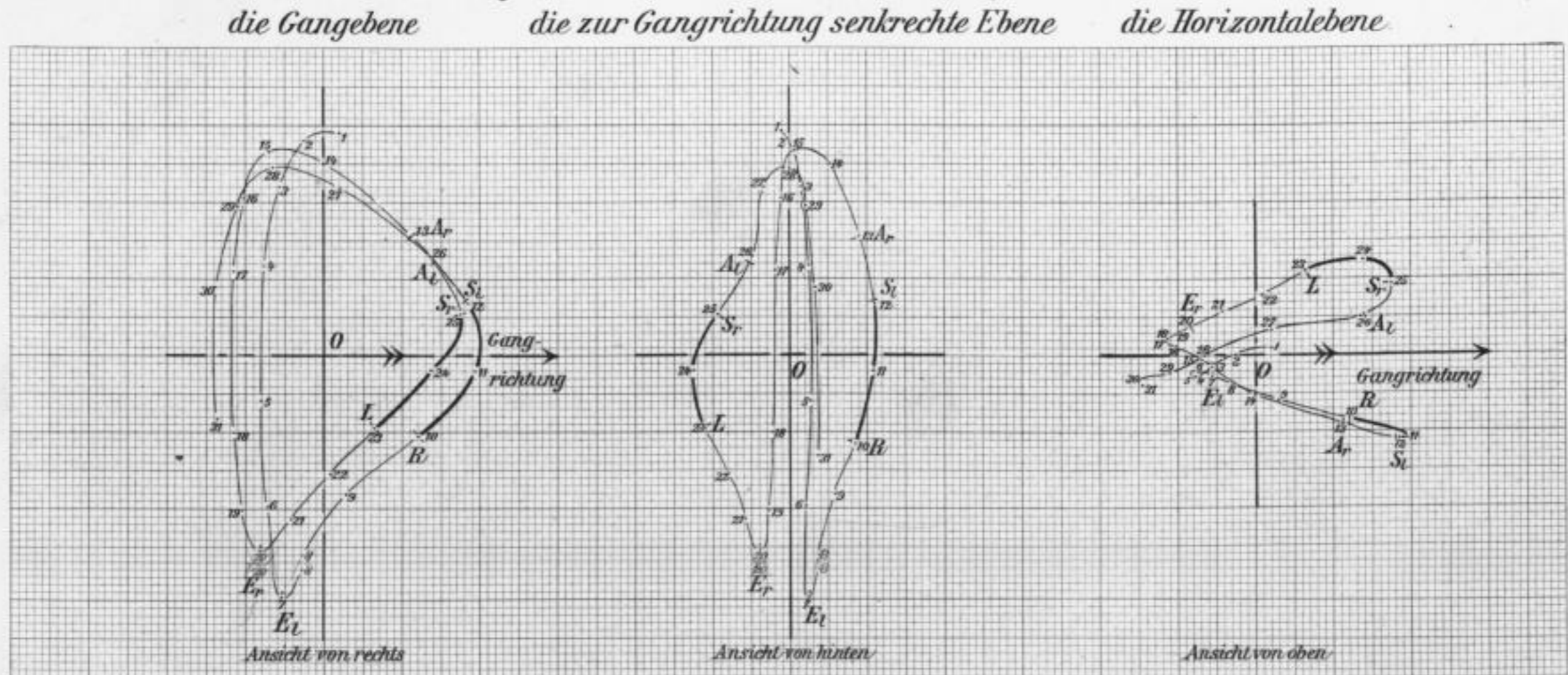
Diagramme für die Bewegung des Gesamtschwerpunktes des belasteten menschlichen Körpers beim Gang mit Belastung durch das Militärgepäck.

128. Anst. v. E. A. P. u. L. G. G. G.

Projectionen der relativen Bahn des Gesamtschwerpunktes des unbelasteten menschlichen Körpers auf



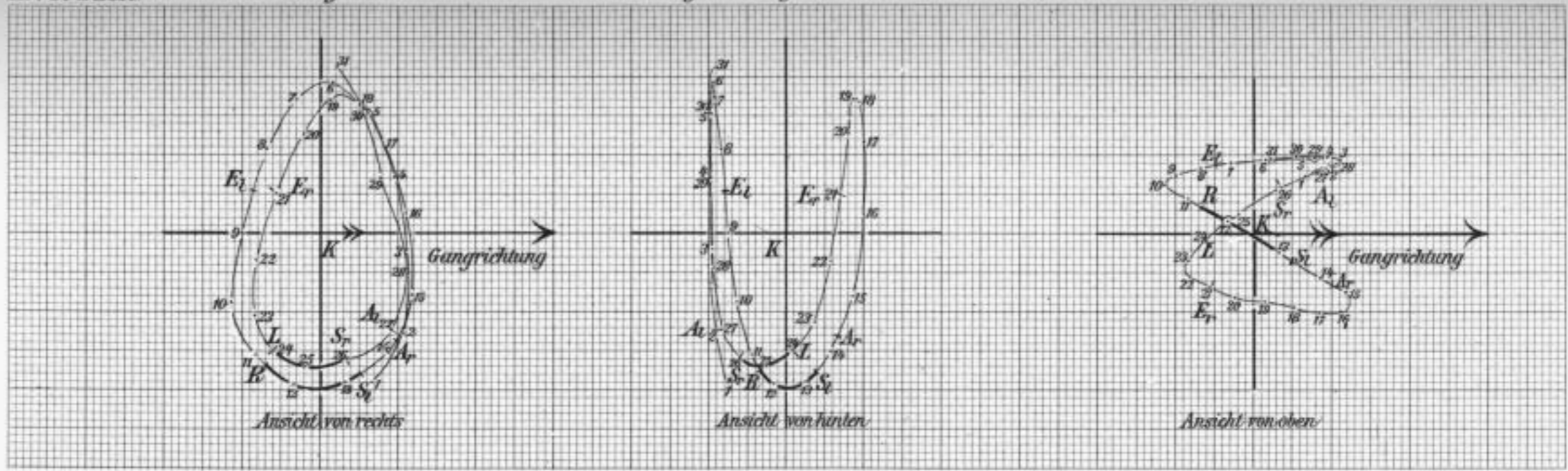
Projectionen des zugehörigen Hodographen auf



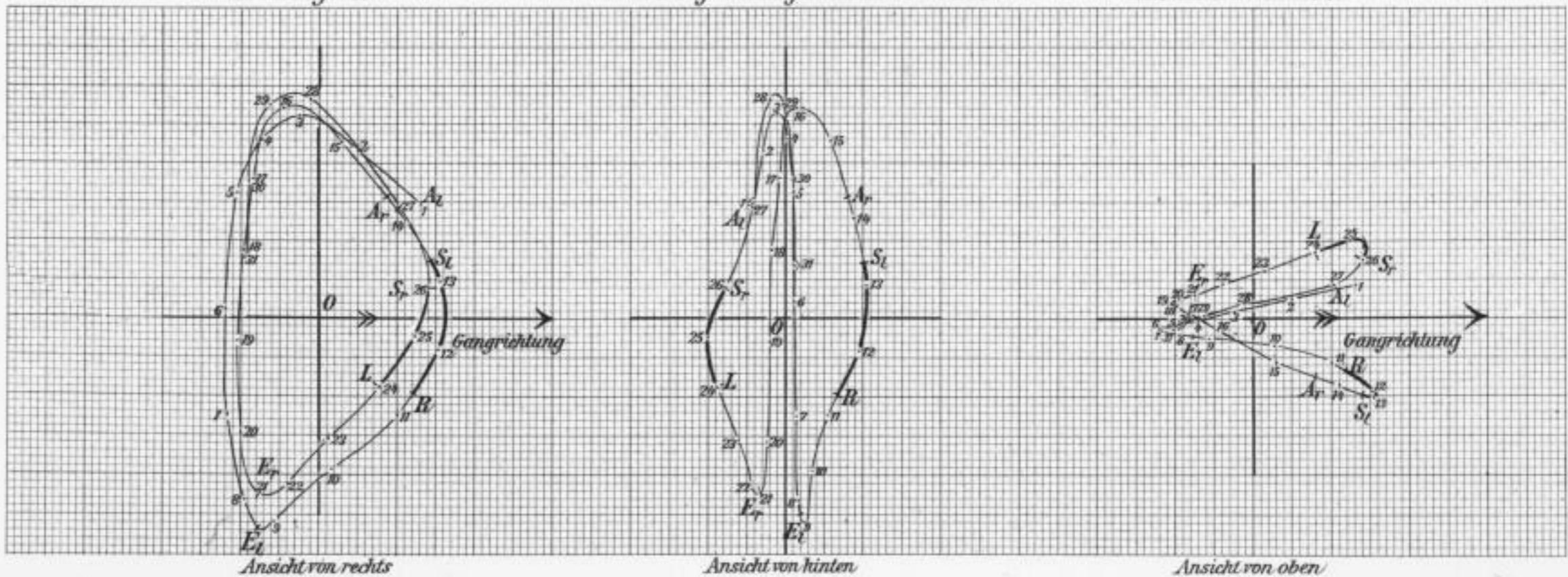


*Projectionen der relativen Bahn des Gesamtschwerpunktes des unbelasteten menschlichen Körpers auf
die Gangebene die zur Gangrichtung senkrechte Ebene die Horizontalebene*

II. Versuch.



*Projectionen des zugehörigen Hodographen auf
die Gangebene die zur Gangrichtung senkrechte Ebene die Horizontalebene*

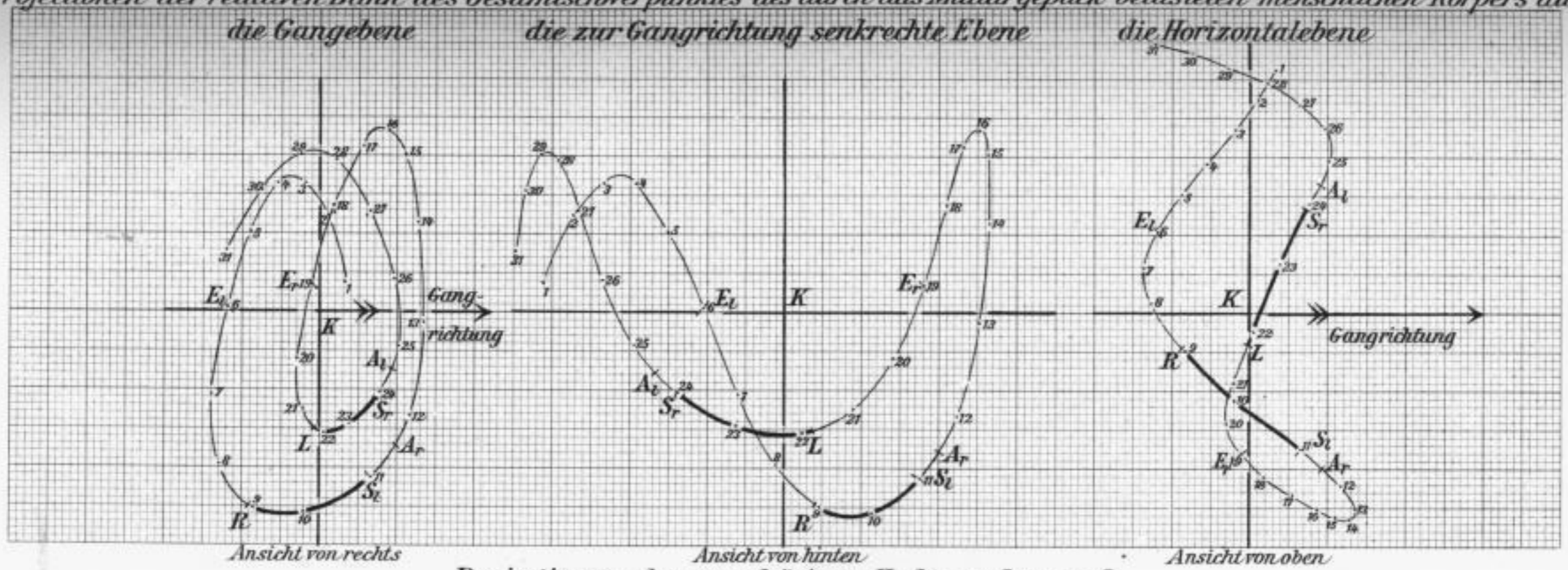


Abhandl. d. Sächs. Ges. d. Wiss. math. phys. Cl. Bd. XVI. 1.

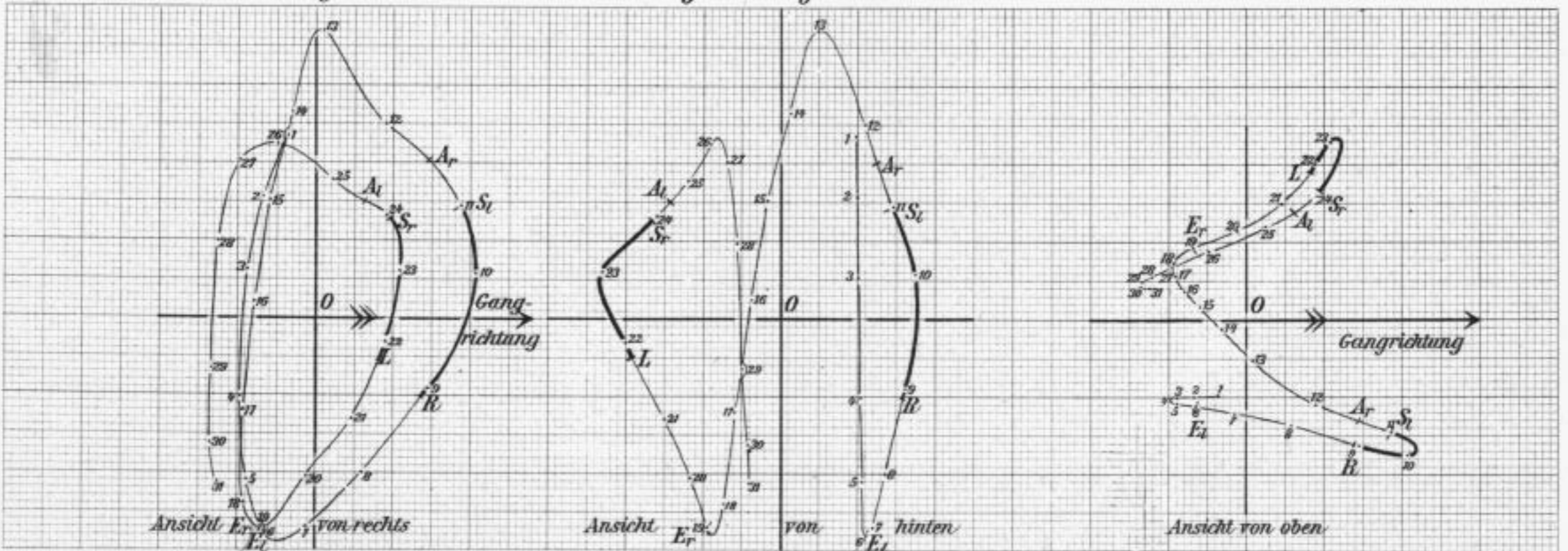
Tafel IX.

Lith. Anst. v. E. A. F. Umbe Leipzig.





Projectionen des zugehörigen Hodographen auf





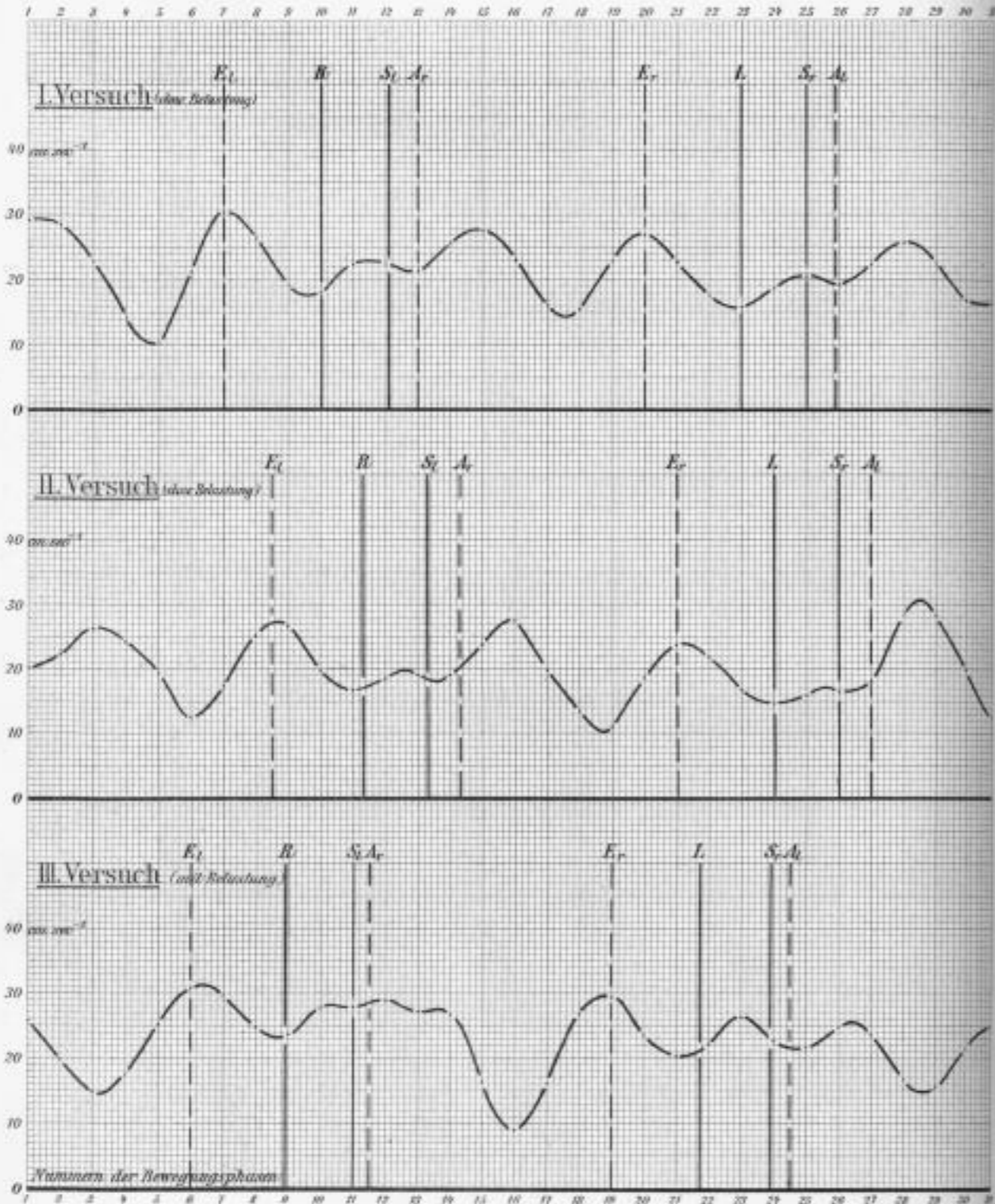


Diagramme für die absoluten Werte der Gesamtgeschwindigkeit der relativen Bewegung des Gesamtschwerpunktes.

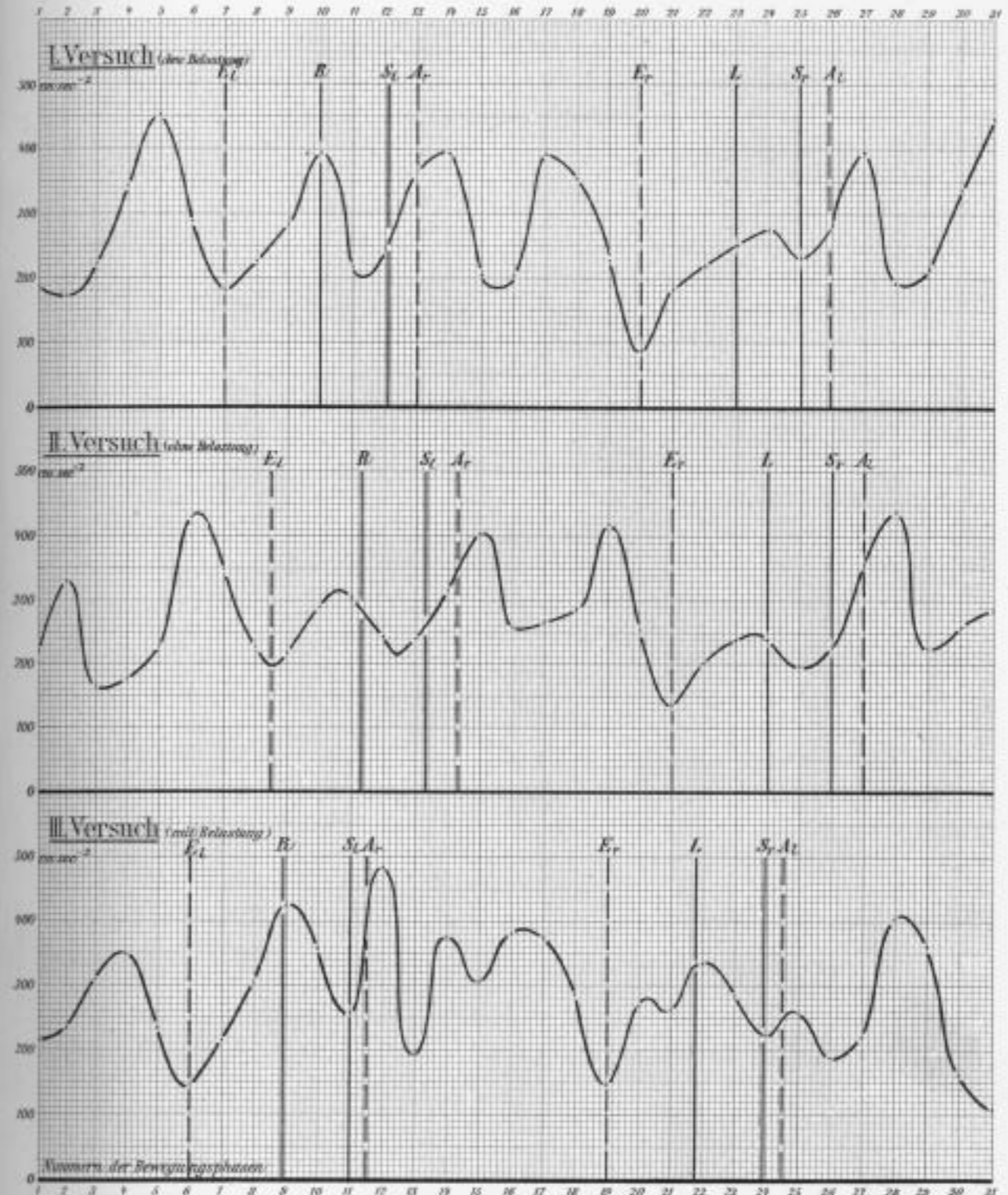


Diagramme für die absoluten Werte der Gesamtbeschleunigung der Bewegung des Gesamtschwerpunktes.

Lith. Anst. v. E.A. Fuhrke, Leipzig



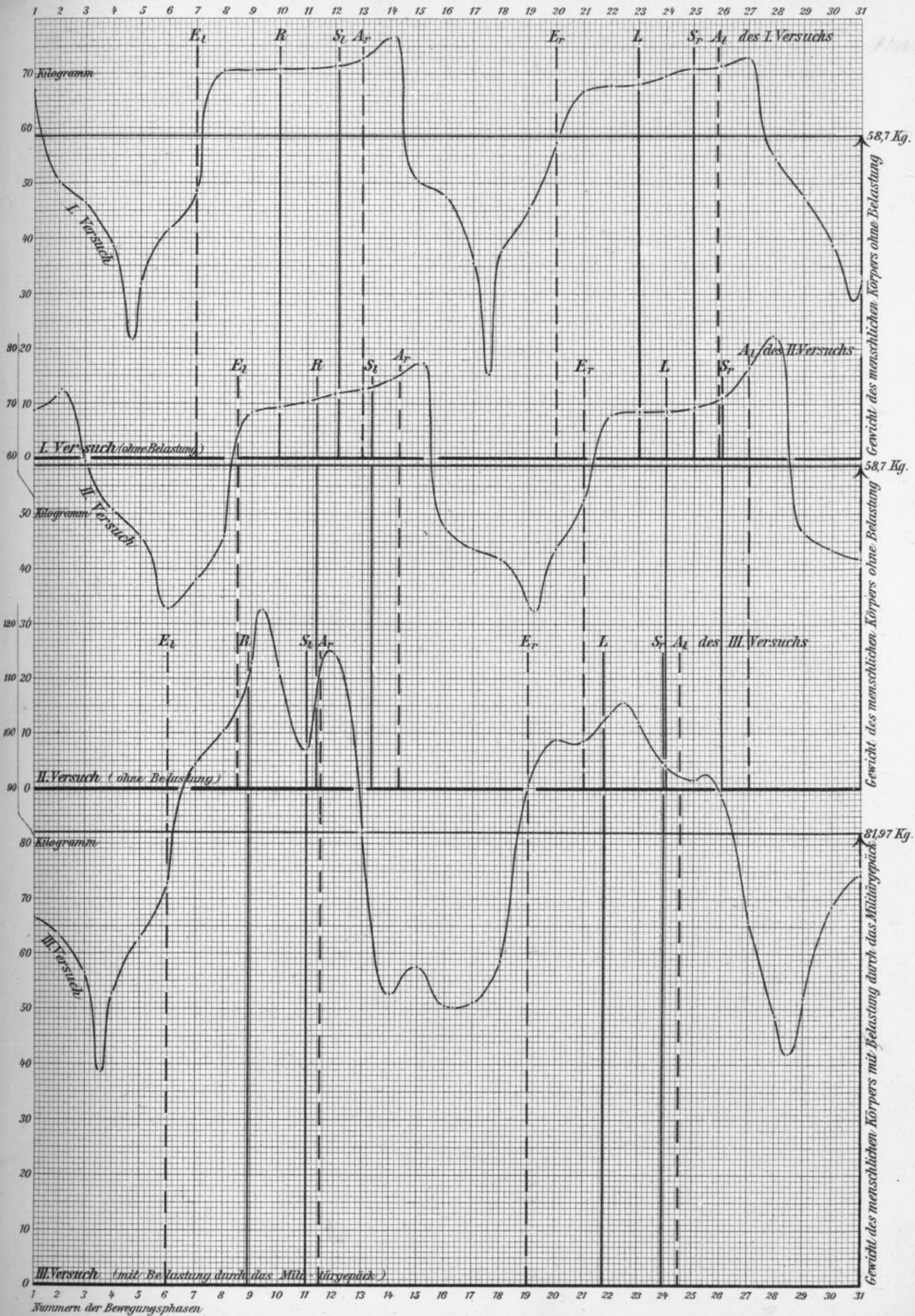


Diagramme für den normalen Druck gegen den Fußboden in Kilogramm.

Lith. Anst. v. E. A. Furke Leipzig.



