

## Mitbewegungen.

Die Untersuchung der menschlichen Willensentwicklung verlangt, wie heute allseitig anerkannt wird, eine weitgehende Berücksichtigung der Bewegungen und Bewegungskombinationen, welche der Körper auf unwillkürliche psychische Impulse hin ausführt, und die der Wille gewissermassen als Material vorfindet, aus dem er das einzelne zweckgemäss verstärken oder unterdrücken lernt. So lange wir nicht wissen, welche Bewegungszuordnungen auf Grund der physiologischen Verbindungsbahnen die natürlichen und ursprünglichen sind, können wir auch nicht entscheiden, welcher psychophysische Vorgang bei einer bestimmten kombinierten oder isolierten Bewegung abläuft, beispielsweise ob bei einer bestimmten Einzelbewegung der Wille nur erregend wirkt oder ob er gleichzeitig hemmend auf andere, von vornherein zugeordnete Bewegungen einwirkt. Da diejenige Bewegungskombination, welche der natürlichen Zuordnung entspricht, offenbar mit einem Minimum der Willensanstrengung zu erzielen sein wird, die psychische Leistung grösser sein wird, sobald diese natürliche Zuordnung unterdrückt wird und am grössten, wenn unnatürliche Verbindungen willkürlich erzwungen werden, so ist es klar, dass in dieser Frage sich das theoretische Interesse des Psychologen mit dem praktischen Interesse aller derer verbinden sollte, welche Bewegungen pädagogisch einzüben oder Bewegungen nationalökonomisch auszunutzen haben. So dürfte für den Industriearbeiter das Minimum

psychophysischer Anstrengung und daher das Maximum der Leistung unter sonst gleichen Bedingungen dann zu erreichen sein, wenn die Maschinen so eingerichtet sind, dass die auszuführenden Bewegungen einer etwaigen natürlichen Zuordnung entsprechen. Dass die ganze Frage auch für den Physiologen wie für den Nervenpathologen von Bedeutung ist, bedarf kaum des Hinweises. Solche Mitbewegungen spielen sich entweder an verschiedenen Teilen derselben Körperhälfte ab, z. B. zwischen Arm und Fuss, Arm und Kopfmuskulatur, Arm und Finger, zum Teil sogar unauflösbar wie zwischen Augeninnenwender und Accomodationsmuskel, oder aber an den entsprechenden Teilen beider Körperhälften, zum Teil auch hier unauflöslich wie das Zusammenwirken der beiderseitigen Atmungs-, Kau-, Schluckmuskulatur, der Sphinkteren u. s. w. Die folgende Untersuchung beschäftigt sich nur mit der für die Willensentwicklung besonders wichtigen Frage, ob eine solche natürliche Zuordnung auch für die Gliedermuskulatur der beiden Körperhälften existiert, speziell ob unsere Arme in einer natürlichen Wechselbeziehung stehen, eine Frage, zu der bekanntlich auch Fechner das Wort ergriffen hat.

Die Anschauungen in diesem Punkt sind, soviel ich sehe, im wesentlichen übereinstimmende. Schon Joh. Müller, welcher die Mitbewegungen ausführlich darstellt, sagt, dass die Nerven und Muskeln der Extremitäten die Tendenz bilateral symmetrischer Bewegung besitzen; „wenigstens ist es bekanntlich schwer, entgegengesetzte rotierende Bewegungen einer gewissen Richtung, z. B. um eine gemeinschaftliche Querachse mit beiden oberen oder beiden unteren Extremitäten zu vollziehen, während gleichartige Bewegungen mit beiden Extremitäten zugleich sehr erleichtert sind“<sup>1)</sup>. Bei der Ausübung schnell aufeinanderfolgender entgegengesetzter Rotationen mit beiden Armen fühlen wir einen inneren Wider-

---

<sup>1)</sup> Joh. Müller, Handbuch d. Physiol. d. Menschen. IV. A. Bd. 1. S. 589.

stand, der diese Bewegungen beständig stört, so dass sie unwillkürlich in gleichartige Bewegungen beider Extremitäten übergehen<sup>1)</sup>. Fechner stützte diese Annahme durch die Beobachtung, dass beim Schreibenlernen eine bilateral symmetrische Mitübung eintritt, derart, dass wenn die rechte Hand in normaler Weise Schreibbewegungen einübt, die linke Hand dadurch eine mehr oder weniger entwickelte Fähigkeit zur Spiegelschrift gewinnt<sup>2)</sup>. Schliesslich wurden vereinzelt klinische Fälle von Mitbewegungen bekannt, bei denen die abnorm associierten Bewegungen nicht wie bei der häufig beobachteten „Irradiation des Willensimpulses“ an derselben Seite eintraten, sondern bilateral symmetrisch geordnet waren, so dass bei den Patienten die einfachen oder komplizierten Bewegungen der einen Extremität eine unfreiwillige getreue Nachahmung an der anderen Seite finden; „alle paarigen Muskeln der Oberextremität und des Schultergürtels geraten bei der Ausführung beabsichtigter einseitiger Bewegungen stets beiderseitig in Kontraktion“<sup>3)</sup>. Damsch kommt bei der Erörterung solcher Fälle zu der Annahme, dass wir überhaupt erst durch die Erziehung lernen, die gleichzeitige Aktion paariger Muskeln zu unterdrücken. „Die Erziehung, Unterricht und Uebung muss demnach zur Ausbildung von Hemmungen führen, welche von der anderen Hemisphäre ausgehen und korrigierend auf die zunächst mangelhaft isolierten Willensimpulse einwirken.“ Jene pathologischen Fälle würden dann darauf beruhen, dass derartige Hemmungen nicht zur Ausbildung gelangen. „Man muss sich alsdann vorstellen, dass die von dem Cortex der

---

<sup>1)</sup> A. a. O. Bd. II. S. 85.

<sup>2)</sup> Fechner, Beobachtungen, welche zu beweisen scheinen, dass durch die Uebung der Glieder der einen Seite die der anderen zugleich mitgeübt werden. Berichte der Sächs. Ges. der Wiss. Math.-Phys. Cl. Bd. 10.

<sup>3)</sup> Damsch, Mitbewegungen in symmetrischen Muskeln an nicht gelähmten Gliedern. Zeitschr. f. klinische Medicin. Bd. 19. Suppl. 1891. Westphal, Bewegungserscheinungen an gelähmten Gliedern. Archiv f. Psychiatrie. Bd. 4. 1874.

einen Hemisphäre ausgehenden Willensimpulse sich bei ihrem Eintritt in die grossen motorischen Ganglien (Streifenhügel und Linsenkern) durch die Kommissurfasern auf identische Teile der anderseitigen Ganglien ausbreiten, und da die unter normalen Bedingungen vorauszusetzenden Hemmungsimpulse der anderen Hemisphäre ausbleiben, nunmehr in den beiderseitigen Pyramidenbahnen in identischer Koordination zu identischen Muskeln ungehindert nach abwärts treten“<sup>1)</sup>. Von Psychologen hat zuletzt James<sup>2)</sup> die Frage berührt und ebenfalls die Ansicht vertreten, dass bilateral symmetrische Armbewegungen der natürlichsten Innervation entsprechen, das Kind sie unbedingt bevorzugt und dass auch beim Erwachsenen die Tendenz zu dieser natürlichsten Impulskombination unter gewissen Bedingungen nicht ohne Einfluss auf die Ausführung der willkürlichen Bewegungen bleibt.

Trotz dieser allseitigen Uebereinstimmung schienen mir nun die Thatsachen, auf welche die herrschende Ansicht sich stützt, mindestens von zweifelhaftem Werte. Gewiss sieht es von vornherein sehr wahrscheinlich aus, dass die gleichnamigen Muskeln beider Körperhälften in enger Beziehung stehen und ihre gemeinsame Bewegung den natürlichsten Zustand darstellt; gerade in der Bewegungslehre aber haben solche, aus der Anatomie hergeleitete Selbstverständlichkeiten so oft schon die wirkliche Erkenntnis des physiologischen Geschehens gehindert. Seit Galenus erschien es ja auch selbstverständlich, dass bei einer Beugung oder Streckung nur die Beuger oder Strecker thätig sind, bis Duchenne zeigte, dass im Gegenteil bei jeder einzigen Bewegung Beuger und Strecker zusammenwirken. Zunächst ist es klar, dass die Analogie mit dem Verhalten der symmetrischen Rumpf- und Gesichtsmuskeln keinerlei Bedeutung für die Extremitäten besitzt. Wenn beim Atmen, Beissen, Schlucken, Niesen u. s. w. die bilateral sym-

---

<sup>1)</sup> A. a. O. S. 177.

<sup>2)</sup> W. James, Principles of Psychology. Bd. II. S. 517.

metrische Muskelthätigkeit eintritt, so handelt es sich dabei um die Funktionierung des Brustkorbs, des Unterkiefers u. s. w., unpaarige Organe, deren normale Leistung nur durch das Zusammenwirken der beiderseitigen Muskeln möglich wird. Solche einheitliche Funktion liegt natürlich auch für die Augen vor, die keinen gemeinsamen Fixierpunkt hätten und somit die Bilder nicht zur Deckung bringen könnten, wenn eines sich heben würde, während das andere sich senkt. Für die Arme und Beine existiert solche gemeinsame Funktion nicht; im Gegenteil, es wird ja stets betont, dass die individuelle Entwicklung darauf hinzielt, das ursprüngliche Zusammenwirken durch einseitige Hemmung wieder aufzulösen, da das Bedürfnis des täglichen Lebens durchweg ungleichseitige Bewegungen von unseren Extremitäten fordert. Beim Gehen, Laufen, Tanzen arbeiten die Beine alternierend, beim Essen, Schreiben, Musizieren funktionieren die beiden Arme unsymmetrisch. Nur wenn unser menschliches Leben mit Schwimmen und Rudern ausgefüllt wäre, so könnten wir auch für die Extremitäten teleologisch aus der Funktion die natürliche Zuordnung erklären.

Ist die Analogie mit den Rumpf- und Gesichtsmuskeln mithin irreführend, so kann sich die Annahme der symmetrischen Gliederthätigkeit nur auf die direkt beobachteten That-sachen stützen. Hierhin gehören in erster Linie die Bewegungen der Kinder, bei denen jene Hemmungen der natürlichen Mitbewegung noch nicht eingetreten sind. Gerade hier aber kann eine objektive Beobachtung unmöglich verkennen, dass das Kind die unsymmetrischen Impulse durchaus bevorzugt. Als ich beobachtete, wie Säuglinge sich bewegen, wenn sie in lauwarmem Badewasser sich behaglich fühlen, stiegen mir die ersten Zweifel an der Gültigkeit des Symmetriegesetzes auf; in vergnügtem Strampeln wird stets das eine Bein angezogen, wenn das andere gestreckt wird und die Arme wechseln in ihren Bewegungen unregelmässig ab. Selbst die Augen haben hier noch nicht die symmetrische Ko-

ordination in der Vertikalrichtung gewonnen, und jede Seitenbewegung der Augen ist ebenso wie jede Seitenbewegung des Kopfes offenbar unsymmetrisch. Zutreffend schildert Preyer auch, wie die Kinder im Schlaf träge Kontraktionen mit Spreizen und Beugen der Finger ausführen, Bewegungen, welche erst zum Ende des zweiten Jahres seltener werden „und vom Anfang an meistens asymmetrisch sind“<sup>1)</sup>. Auch beim Gehenlernen fällt es jedem auf, wie das Kind, wenn es unter den Armen so gehalten wird, dass die Füße den Boden berühren, durchaus abwechselnd die Beine hebt und streckt<sup>2)</sup>. Mark Baldwin, der die Entwicklung der Rechtshändigkeit verfolgen wollte, notierte die Armbewegungen seines Kindes in den ersten Monaten; es ergab sich, dass von 2187 Fällen nur 1034 zweihändig, 1183 einhändig waren<sup>3)</sup>; in Anbetracht, dass von den zweihändigen Bewegungen alle diejenigen wegfallen, welche nicht symmetrisch sind oder welche auf Reize hin erfolgen, die in der Medianebene oder zur Medianebene symmetrisch liegen, so ergibt sich auch hier, dass von einem ursprünglichen Ueberwiegen der Mitbewegungstendenz keine Rede ist. Was schliesslich die Fälle von Mitübung und Spiegelschrift, sowie die pathologischen Erfahrungen betrifft, so beweisen sie überaus wenig. Bei dem vielcitierten Fechnerschen Beispiel von Spiegelschrift mit der linken Hand ist von einem ursprünglich linkshändigen Knaben die Rede, der nur durch Uebung eine gleiche Geschicklichkeit in der rechten Hand erworben hatte. Der Vater des Knaben fügt seinem Bericht ausdrücklich hinzu, dass er selbst eher mit der rechten als mit der linken Hand Spiegelschrift hervorbringen kann. Dasselbe gilt von mir; ich kann mit der rechten Hand ziemlich fliessend und ohne jede Ueberlegung Spiegelschrift schreiben, während mir mit der linken Hand Spiegelschrift ebenso missrät, wie

<sup>1)</sup> Preyer, Seele des Kindes. II. A. S. 153.

<sup>2)</sup> A. a. O. S. 203.

<sup>3)</sup> Baldwin, Origin of Right or Left Handedness. Science 1890.

gewöhnliche Schrift. Ein anderer Versuch zeigt mir, dass die Mitübung bei mir auch dann nicht eintritt, wenn die linke Hand die geübte ist; ich spiele seit meinem achten Jahre Violoncello und bin trotz so langer Uebung der Linken nicht im stande, die symmetrischen Bewegungen mit der Rechten auszuführen. Auch Stumpf erwähnt, dass nach den Erfahrungen des Klavierunterrichts die eine Hand nicht merklich durch die andere mitgeübt werde<sup>1)</sup>. Soltmann<sup>2)</sup> sieht in der Neigung zu linkshändiger Spiegelschrift sogar ein psychopathisches Symptom. Die meisten Kinder, die er aufforderte, mit der linken Hand zu schreiben, brachten die Worte in der gewöhnlichen Weise von links nach rechts zu Papier, nur solche, deren Psyche nicht intakt war, schrieben ohne Besinnen Spiegelschrift. Bezüglich der pathologischen Fälle schliesslich von konstanter Mitbewegung scheint mir der Erklärungsversuch im Missverhältnis zu der Seltenheit der beobachteten Fälle zu stehen. Wenn wirklich eine gleichzeitige Innervation der beiderseitigen Extremitätenmuskeln der ursprüngliche Vorgang wäre, der nur durch einseitige Hemmung aufgehoben wird, so würde das Fehlen oder die mangelhafte Ausbildung dieser kortikalen Hemmung eine verhältnismässig häufige Erscheinung sein, die konstante symmetrische Mitbewegung müsste dann wenigstens oft Symptom cerebraler Erkrankungen sein. Bis jetzt sind aber erst ein paar völlig vereinzelt, von Jugend an bestehende Fälle beschrieben worden, so dass es wahrscheinlicher ist, in diesen Ausnahmefällen anatomische Abnormitäten, vielleicht mangelhafte Pyramidenkreuzung der motorischen Bahnen zu vermuten. Dass bei der gewöhnlichen halbseitigen Lähmung Erwachsener, auch wenn die Lähmung von der Grosshirnrinde ausgeht, solche Mitbewegung im gelähmten Gliede nicht eintritt, scheint mir entscheidend. Auch darauf sei schliesslich hingewiesen.

---

<sup>1)</sup> Stumpf, Tonpsychologie. Bd. 1. S. 81.

<sup>2)</sup> Soltmann, Schrift und Spiegelschrift bei gesunden und kranken Kindern. 1890.

dass unsere unwillkürlichen Reflexe, bei denen doch jedenfalls die natürliche Zuordnung zumal bei starkem Reiz ganz rein hervortreten müsste, ebenfalls keine konstante symmetrische Mitbewegung zeigen. Wenn der Reflex von einem Reiz in der Medianebene ausgelöst wird, so ist die symmetrische Bewegung selbstverständlich; wenn aber z. B. uns unerwartet auf der Landstrasse ein Hund plötzlich von der Seite anklafft, so fahren nur die Glieder der entsprechenden Körperhälfte zusammen. Diese und ähnliche Erwägungen legten mir die Ueberzeugung nahe, dass die Frage der natürlichen Bewegungsordnung durch die übliche Auffassung nicht ausreichend beantwortet sei, während es im Interesse der Willenslehre und der Lehre von den Ausdrucksbewegungen u. s. w. liegt, hier möglichste Klarheit zu schaffen. Es schien mir daher angezeigt, diesen gesamten Erscheinungskomplex einer eingehenden experimentellen Untersuchung zu unterziehen; dieselbe wurde im Sommersemester 1891 von den Herren Dr. v. Jankovich, Clemens, Lewy, Zermelo, Liesegang, Gill, Slatopolsky, Frl. Dr. v. Schirnhofner und mir durchgeführt. Systematische Experimente dieser Art existierten, soviel ich weiss, noch nicht; Stanley-Hall, Hartwell, Löb, Delabarre u. a. haben untersucht, wie die Leistungen der beiden Arme sich unterscheiden, nicht aber, welches die natürlichsten Bewegungskoordinationen sind.

Der zuverlässigste Weg, bei erwachsenen normalen Menschen die natürlichste Innervationszuordnung zu finden, scheint mir der zu sein, dass eine Versuchsperson regelmässige periodische Armbewegung mit beiden Händen willkürlich auszuführen beginnt, dann ihre Aufmerksamkeit teilweise oder vollkommen von der Bewegung abgelenkt wird und nun beobachtet wird, ob sich bei abgelenkter Aufmerksamkeit der Typus der Bewegungen verändert. Die vom Willen geschaffenen Hemmungen werden dabei offenbar wegfallen und der natürliche Koordinationszustand wird sich offenbaren; dadurch, dass das Entscheidende des Versuchs in dem Uebergang gewollter

Thätigkeit in unwillkürliche liegt, charakterisiert sich das Experiment als ein psychologisches. In sekundärer Weise berücksichtigten wir auch subjektive Aussagen, ob die eine willkürliche Bewegung angenehmer sei als eine andere, und ähnliches. Der grösste Teil der zahlreichen Experimente wurde nun so angestellt, dass die Versuchsperson mit jeder Hand ein dickes Reagensglas symmetrisch umfasste und mit dem abgerundeten Boden des Glases auf einem weichen Brett zwei­händig die vorgeschriebenen Figuren beschrieb; die Aufmerksamkeit wurde dann in einer, nach der Schwierigkeit der Bewegung abgestuften Weise abgelenkt, z. B. durch Lesen, Kopfrechnen, Buchstabenzählen, Punkte fixieren u. s. w. oder willkürlich nur der rechten oder nur der linken Hand zuge­wendet, so dass die andere Hand unwillkürlich mitgeführt wird. Von den übrigen Mitarbeitern wurde dabei die etwaige Veränderung der Bewegung beobachtet und mit graphischer Darstellung der verschiedenen Stadien protokolliert. Die gleichzeitige Beobachtung durch mehrere erwies sich bei der Schnelligkeit des Vorgangs als notwendig; nur das wurde be­rücksichtigt, was übereinstimmend gesehen wurde. Eine ge­wisse Störung lag in dem surrenden Reibungsgeräusch; das­selbe bewirkte nun zwar eventuell, dass die Versuchsperson auf die unwillkürliche Veränderung des Bewegungstypus auf­merksam wurde, den Willen der Bewegung wieder zulenkte und so die Bewegung bald nachträglich korrigierte, die Ab­lenkung selbst konnte aber durch das Geräusch nicht ver­mieden werden; und überdies war nur ausnahmsweise das Geräusch bei der veränderten Bewegung von der ursprüng­lichen so sehr verschieden, dass der Unterschied für die ab­gewandte Aufmerksamkeit bemerkbar wurde. Kontrollversuche, bei denen die Bewegung ohne Unterlage in der Luft aus­geführt wurden, ergaben überdies dieselben Resultate; dadurch aber, dass bei ihnen keine feste Ebene gegeben ist, werden die Bewegungen sehr viel unregelmässiger und deshalb sehr viel schwerer verfolgbar, so dass das erstere Verfahren vor-

zuziehen bleibt. Jeder Versuch wurde von mindestens sechs Personen nacheinander ausgeführt und von jedem an demselben oder an verschiedenen Tagen mindestens fünfmal wiederholt; die angegebenen Zahlen sind Durchschnittszahlen, die selbstverständlich keinen absoluten Wert beanspruchen, da einerseits Übung, andererseits die wechselnden Grade der Aufmerksamkeitsablenkung bedeutende Abweichungen hervorrufen. Zahlreiche Bewegungsformen waren für die eine oder die andere Versuchsperson so schwierig ausführbar, dass bei der geringsten Ablenkung der Aufmerksamkeit die Bewegung überhaupt aufhörte. Alle derart missglückten Versuche bleiben im folgenden unberücksichtigt. Die Schnelligkeit der Bewegung war, damit das Material vergleichbar würde, immer dieselbe bis auf die später erwähnten Ausnahmen; die Bewegung (Kreis, Linie, Dreieck u. s. w.) wurde im Tempo von  $\frac{2}{3}$  bis 1 Sek. ausgeführt und zwar zur Einübung anfänglich synchron mit den Schlägen eines Metronoms.

Wir begannen mit Kreisen von etwa 20 cm Durchmesser, die in gleicher Entfernung von der Mittelebene auf einer horizontalen Fläche beschrieben wurden, und zwar zunächst mit gleichsinnig gerichteten, also unsymmetrischen Bewegungen. Wurden beide Kreisbewegungen im Sinne des Uhrzeigers, also auf der vom Körper abgelegenen Kreishälfte von links nach rechts gemacht und wurde dabei die Aufmerksamkeit nur der rechten Hand zugelenkt, so dass diese führte und die linke unwillkürlich mitgenommen wurde, dann konnten von sieben Personen zwei diese Bewegung unbegrenzt, d. h. bis über hundert Kreise fortführen, bei einer Person ging die Bewegung links nach 15 bis 25 Kreisen in gleichsinnig gerichtete ungleichphasige Kreise über, bei einer machte die linke Hand zunächst flache Ellipsen und dann einfache horizontale Linien, und nur bei drei Personen schlug die linke Hand regelmässig in symmetrische Kreise um, bei der einen schon nach 5 bis 7, bei der zweiten nach 15 bis 20, bei der dritten nach 20 bis 30 Kreisen.

Führte die linke Hand, so war das Ergebnis durchschnittlich günstiger, insofern jetzt drei Personen die Bewegung unbegrenzt weiterführen konnten, und bei denjenigen, die jetzt mit der rechten Hand in die symmetrische Bewegung übergingen, der Umschlag um 10 bis 20 Kreise später eintrat. Noch mehr individuelle Variationen traten ein, als wir die Bewegungen gleichsinnig, aber entgegengesetzt zur Richtung des Uhrzeigers ausführten und gleichzeitig die Aufmerksamkeit durch Ausführung von Kopfrechenaufgaben ablenkten; letztere waren sehr ungleich schwierig, da ungefähr derselbe Grad der Ablenkung, der bei einigen durch fortgesetztes Potenzieren erreicht wurde, bei anderen schon dann erreicht zu sein schien, wenn die Zahl 7 stetig zu einer gegebenen Zahl hinzuaddiert wurde. Das Ergebnis war, dass von acht Personen zwei wieder unbegrenzt die Bewegung durchführten, zwei nach 8 bis 25 Kreisen in ungleiche Phasen übergingen, einer die Kreise rechts gleichsinnig, aber doppelt so schnell als links ausführte, zwei mit der rechten Hand in die symmetrische Uhrzeigerbewegung übergingen, und einer mit der linken Hand. Fünf Personen bevorzugten also eine nichtsymmetrische Bewegung. Bei allen schwierigeren Rechenaufgaben passt sich übrigens der Bewegungsrhythmus ein wenig dem ungleichmässigen Gang der Rechnung an, während umgekehrt bei den leichten Rechnungen das Aussprechen der Zahlen sich der Bewegung anpasst. Ueberraschender noch war die nächste Versuchsgruppe: gleichsinnig gerichtete Kreise in ungleichen Phasen, derart, dass die linke Hand um einen Halbkreis hinter der rechten zurück, resp. vor ihr voraus war. Offenbar sind hierbei die Bewegungen beider Arme vollkommen unsymmetrisch, trotzdem trat bei den untersuchten sechs Personen, gleichviel ob die Aufmerksamkeit nur der rechten oder nur der linken Hand zugewandt war, fast niemals in der mitgeführten Hand ein Uebergang in symmetrische Bewegung ein. Bei vieren wurde die gleichsinnige ungleichphasige Bewegung bis zur Ermüdung unverändert weitergeführt, wobei

freilich oft die Kreise zu Ellipsen ausgezogen wurden. Bei zweien ging die Bewegung allmählich in gleichsinnige Bewegung mit gleichen Phasen über, und zwar bei dem einen nach 20 bis 25 Kreisen, bei dem anderen schon nach 3 oder 4 Kreisen. Wurden symmetrische Kreise gemacht und die Aufmerksamkeit abgelenkt, so behielten fünf von sechs die Richtung bei, einer dagegen ging regelmässig in ungleichphasige gleichsinnige Kreise über. Aber auch die Bewegungen derjenigen, welche die Richtung der Kreise beibehielten, waren durchaus nicht immer kongruent. So gingen die linken Kreise zweier Personen jedesmal zuerst in flache Ellipsen, schliesslich in gerade Linien über, während ein anderer die linken Kreise wesentlich kleiner als die rechten machte.

An die Untersuchung der Kreise schlossen sich Versuche mit Linien, Winkeln, Dreiecken und Vierecken. Werden die Linien parallel gemacht der vorderen Kante des Tisches, vor dem wir stehen, so ist kein einziger im stande, eine gleichsinnig gerichtete Hin- und Herbewegung bei abgelenkter Aufmerksamkeit durchzuführen, nach 5 bis 20 Linien gehen die Bewegungen ausnahmslos in symmetrische über; symmetrische Bewegung wird bis zur Ermüdung fortgesetzt. Wird die rechte Hand doppelt so schnell als die linke hin und her bewegt, so sind mehrere Herren im stande, diese ungleichmässige Bewegung auch bei abgelenkter Aufmerksamkeit bis zur Ermüdung fortzusetzen. Fast regelmässig gehen die Linien in flache Ellipsen über oder erhalten an den Enden kolbige Anschwellungen oder durch andere Figuren wird die Hinbewegung allmählich in die Rückbewegung übergeleitet. Bilden die Linien zur vorderen Tischkante einen nach aussen gerichteten Winkel von  $45^{\circ}$ , so dass die Arme von der Mittellinie des Körpers schräg abduziert werden, so tritt ebenfalls Tendenz zur Abrundung und Ausbuchtung ein, aber die Richtung wird in der überwiegenden Zahl der Fälle nicht verändert, wenn die Bewegung unsymmetrisch erfolgt. Auch die subjektive Aussage bestätigte bei den meisten, dass die alternierende

Ausführung dieser Bewegung, so dass der rechte Arm schräg abduziert wird, wenn der linke angezogen wird, wesentlich angenehmer erscheint als die symmetrische Bewegung.

Wenn rechte Winkel beschrieben wurden, deren einer Schenkel zur Tischkante parallel, der andere vom Körper weggerichtet war, so verschwand bei abgelenkter Aufmerksamkeit in den meisten Fällen die Ecke und Bogenlinien traten an ihre Stelle, wobei die Ecke meist noch durch ein Zucken oder stärkeres Aufdrücken markiert blieb. Waren beide Winkel nach einer Seite offen, so trat meistens bald Umschlag in symmetrische Figuren ein, falls von vornherein gleiche Phasen gewählt waren, ungleiche Phasen dagegen gingen nur in gleiche Phasen über. Waren beide Winkel nach aussen offen, so konnten zwei von fünf Versuchspersonen die Bewegung auch bei abgelenkter Aufmerksamkeit in ungleichen Phasen durchführen, eine Kombination, die für andere auch bei zugelenkter Aufmerksamkeit kaum ausführbar schien.

Bei gleichseitigen Dreiecken trat in erster Linie wieder die Abrundungstendenz hervor; sobald die Aufmerksamkeit abgelenkt war, wurde aus dem Dreieck in häufigen Fällen eine Ellipse, ein Kreis, eine Acht, oder wenigstens ein Dreieck mit abgerundeten Ecken. Von sechs Versuchspersonen ging bei zweien die gleichsinnig gleichphasige Dreiecksbewegung in ungleichphasige gleichsinnige, bei dreien in gleichphasig ungleichsinnige über, bei einer blieb sie erhalten; die ungleichphasige gleichsinnige blieb bei dreien meist erhalten, die ungleichsinnige gleichphasige Bewegung ging nur bei einem auch in ungleichphasige über. Vierecke nahmen bei abgelenkter Aufmerksamkeit die seltsamsten Gestalten an, nicht selten die Form eines Halbkreises, den eine vierzackige Linie abschliesst. Auch bei ihnen geht die gleichsinnige Bewegung häufig nicht in symmetrische, sondern in ungleichphasige über.

Es schloss sich die Untersuchung von Kreisen in verschiedenen Abständen an. Wurde beispielsweise der

rechte Arm möglichst weit abduziert, während der linke Arm sich unmittelbar vor der Körpermitte befand, und wurden dann bei abgelenkter Aufmerksamkeit gleichsinnige, also un-symmetrische Kreise in der Richtung des Uhrzeigers ausgeführt, so gingen von sieben Versuchspersonen nur zwei beim 10. bis 20. Kreise in ungleichsinnige Kreise über, einer in ungleichphasige, während vier die Bewegung durchführen konnten. Offenbar ist aber auch die ungleichsinnige Bewegung bei so verschiedener Armstellung keineswegs symmetrisch; zu einer symmetrischen Bewegung würde es erst dann, wenn auch der linke Arm allmählich abduziert oder der rechte Arm adduziert würde. Wurde der Versuch mit der entgegengesetzten Ausgangsstellung vorgenommen, der linke Arm entfernt, der rechte angezogen, so trat in der That bei zwei Personen die Tendenz hervor, die linke Hand bei abgelenkter Aufmerksamkeit dem Körper anzunähern; wiederum aber war bei fünf Versuchenden keine Spur von Uebergang in symmetrische Bewegung. — Wurden die Arme vorn über Kreuz gehalten, so scheint sowohl gleichsinnige als auch entgegengesetzte Kreisbewegung unbequem zu sein, da bei abgelenkter Aufmerksamkeit jede von beiden leicht in die umgekehrte umschlägt und so bei längerer Weiterführung schliesslich ein periodischer Wechsel zwischen symmetrischer und asymmetrischer Bewegung eintritt.

Sehr zahlreiche Experimente widmeten wir derjenigen Armstellung, bei welcher rechte und linke Hand übereinander standen, so als wenn sie gemeinsam einen Vertikalstab umfasst hielten. Um jeden Arm dabei unabhängig vom anderen zu kontrollieren, wurde die Bewegung so ausgeführt, dass die eine Hand über, die andere unter einer horizontalen Holzplatte ihre Kreise beschrieb. Es ergab sich, dass in diesem Fall die unbedingt bevorzugte Bewegung die gleichsinnig ungleichphasige ist; in diese schlägt in der Mehrzahl der Fälle sowohl die gleichsinnig gleichphasige um, als auch die symmetrische. Bei einigen Personen hörte die linke Hand

überhaupt auf, Kreise zu zeichnen; die Bewegung ging in Ellipsen und schliesslich in gerade Linien über.

Standen die Kreisebenen zueinander senkrecht, so dass die rechte Hand vertikale, die linke horizontale Kreise zog, so ergab sich für diejenigen, welche die Bewegung überhaupt schnell und regelmässig auszuführen vermochten, kein Unterschied durch die Ablenkung der Aufmerksamkeit. Sehr charakteristisch waren die Versuche an einer vertikalen Platte in der Medianebene; beide Hände hatten jetzt also vertikale Kreise zu beschreiben, die rechte auf der rechten Seite, die linke auf der linken Seite der Platte. Es ist klar, dass bei dieser Stellung die gleichsinnige und gleichphasige Kreisbewegung die allein symmetrische ist; der Versuch ergab, dass diese symmetrische Armbewegung niemals bevorzugt wird, sondern fast regelmässig der Tendenz unterliegt, in ungleichphasige gleichsinnige Bewegung überzugehen, so dass beide Hände stets durch einen Kreisdurchmesser getrennt sind. Auch die schwer auszuführende ungleichsinnige Kreisbewegung geht in die ungleichphasig-gleichsinnige über. Bekannt ist, zu welcher Kraftsteigerung diese unsymmetrische Bewegung beim Boxen führt. Den Schluss bildete die Untersuchung vertikaler Linien. Auch hier ist gleichzeitige Auf- und Abbewegung beider Hände allein symmetrisch; der Versuch zeigt, dass bei abgelenkter Aufmerksamkeit von sieben Personen fünf aus symmetrischer in unsymmetrische also alternierende Bewegung übergehen. Die unsymmetrische Bewegung konnte dagegen von allen festgehalten werden. Auch die subjektive Aussage bestätigte, dass die abwechselnde Vertikalbewegung bei schneller Ausführung angenehmer sei als die symmetrische. Unterstützt wird die letztere Thatsache auch durch vorübergehend angestellte Versuche am Dynamometer. Drückt beispielsweise die linke Hand mit maximaler Anstrengung auf eine Feder, welche die Stärke des Drucks durch Winkeldrehung eines Zeigers angibt, und macht man dann gleichzeitig mit dem rechten Arm

langsam in der Luft eine Abwärts- oder Aufwärtsbewegung, als gälte es, ein Gewicht zu heben oder einen Druck nach unten auszuüben, so geht bei den meisten Personen der Zeiger zurück, wenn der freie Arm sich in der symmetrischen Richtung bewegt, und die Kraft nimmt zu, wenn die Richtung entgegengesetzt ist.

Unter der Voraussetzung, dass bei stark abgelenkter Aufmerksamkeit die natürliche Bewegungskoordination deutlicher hervortritt, als bei zugewendetem Willen, würde sich aus unseren Experimenten im wesentlichen also ergeben, dass die gewöhnlich angenommene feste Zuordnung der symmetrischen Muskeln an den Armen nicht existiert, dass für einige Bewegungsrichtungen, z. B. nach oben oder nach vorn, die unsymmetrische Innervation sich als die natürlichste erweist, während in anderen Richtungen, z. B. nach der Seite, die symmetrische Innervation natürlicher erscheint als die gleichsinnige.

Es scheint mir, dass sämtliche Erscheinungen, die sich in den Versuchen ergaben, unschwer einem einheitlichen Gesetz untergeordnet werden können, das sich sehr viel einfacher als die Lehre von der symmetrischen Innervation den bekannten biologischen Thatsachen einordnet. Das Gesetz würde lauten: jede starke Armbewegung der einen Seite wirkt als Reiz für die Auslösung derjenigen Armbewegung an der anderen Seite, welche am besten geeignet ist, überflüssige Mitbewegungen des Körpers aufzuheben und so zu möglichster Ersparnis an Muskelarbeit führt. Wenn wir schnell mit rechtem und linkem Arm starke horizontale Seitenbewegungen gleichsinnig ausführen, also gleichzeitig beide nach rechts und beide nach links strecken, so kommt der ganze Körper ins Schwanken, Rumpf und Beine müssen arbeiten, um das Gleichgewicht zu halten, eine überflüssige Arbeit, die sofort aufhört, wenn wir von dem unsymmetrischen Bewegungstypus zum symmetrischen übergehen, beide Arme gleichzeitig nach

aussen strecken und gleichzeitig nach innen ziehen. Führen wir dagegen kräftige Vertikalbewegungen der Arme symmetrisch aus, so als wollten wir ein Beil schnell heben und senken, um Holz zu spalten, so gerät wieder unser ganzer Körper in Arbeit, die sofort aufhört, sobald wir zu der unsymmetrischen alternierenden Armthätigkeit übergehen. So lässt sich bei jeder Bewegungskombination unserer Versuche zeigen, dass die willkürlich ausgeführte Bewegung bei abgelenkter Aufmerksamkeit mit Vorliebe in diejenige Bewegung überging, welche möglichst die überflüssigen Mitbewegungen unterdrückt. So erklärt sich denn auch, dass an die Stelle der symmetrischen so oft die gleichsinnig-ungleichphasige Bewegung tritt; sie ist in vielen Fällen wirklich ebenso geeignet, den Körper in der Gleichgewichtslage ruhig zu halten, wie die symmetrische. Auch dass die scharfen Ecken sich bei unwillkürlicher Bewegung bald abrundeten, die Linienenden sich auswölbten, dürfte eine zweckmässige Arbeitersparnis sein; die plötzliche Innervationsänderung beim unvermittelten Uebergang einer starken Bewegung in die entgegengesetzte verlangt sehr viel energischere Arbeit und Gegenspannung als der vermittelte allmähliche Uebergang. In dieser eng begrenzten Wirksamkeit zeigt sich die symmetrische Innervation also als eine Zweckmässigkeitserscheinung, bedingt durch das biologische Gesetz des kleinsten Kraftaufwandes, ein Gesetz, das eben in häufigeren Fällen gerade die unsymmetrische Innervation veranlasst. Wäre dagegen, wie die übliche Auffassung verlangt, die symmetrische Innervation das konstante, nur durch einseitige Hemmung aufzulösende Ergebnis einer anatomischen Verbindung, so würde eine solche Einrichtung den biologischen Bedürfnissen des Menschen, wie Gehen, Laufen, wechselseitige unabhängige Benutzung der Arme u. s. w. in so hohem Masse schädigend gegenüberstehen, dass es unbegreiflich bliebe, wie solch unzweckmässige Verbindungsbahn sich entwickeln und erhalten konnte. Sind doch auch für die höheren Tiere die unsymmetrischen Bewegungen der Extremitäten

täten die weitaus wichtigsten; auch das Tier macht die unsymmetrischen Laufbewegungen, um Kraft zu sparen, und geht zu den symmetrischen Galoppbewegungen nur in dem Ausnahmefall über, dass vorübergehend zur Erzielung grösster Schnelligkeit der grösste Kraftaufwand nötig ist.

Vereinigen wir die so gewonnenen Ergebnisse mit dem, was uns oben die Betrachtung der Kinder, der Kranken und der normalen Erwachsenen lehrte, so ergibt sich etwa folgendes Verhalten. Eine angeborene symmetrische Koordination der Extremitätenmuskeln existiert nicht. Solche symmetrische Thätigkeit tritt ein erstens und hauptsächlich dann, wenn der die Thätigkeit auslösende Reiz in der Mittelebene liegt oder auf beide Gehirn-, resp. Rückenmarkshälften direkt symmetrisch erregend wirkt; dieses gilt von der Atmungs-, Schluck-, Kau-, Sphinkterenthätigkeit, vom Niesen, Gähnen, Lidschluss und vielen anderen, jenes von den Konvergenzbewegungen der Augen u. s. w. Alle diese symmetrischen Innervationen müssen notwendig von Anfang an in Kraft treten; es spricht daher nichts gegen die Möglichkeit, dass konstante Verbindungsbahnen für diese Muskelgruppen das aus dem symmetrischen Einwirken der Reize sich ergebende Zusammenwirken erleichtern. Zweitens kann symmetrische Thätigkeit dadurch entstehen, dass symmetrisch zur Medianebene liegende äussere Objekte unsere Extremitäten zur Leistung anregen, resp. symmetrische Thätigkeit zur Erreichung eines bestimmten Zweckes nötig ist; wir lernen mit beiden Händen symmetrisch ein gleichmässig um die Mittelebene verteiltes Objekt fassen, heben, halten u. s. w.; wir lernen hüpfen, schwimmen, rudern u. s. w. Zu fester Koordination durch Uebung kann es dabei nicht kommen, weil unsymmetrische Reize und unsymmetrische Leistungen uns viel häufiger in Anspruch nehmen; wir gehen und laufen viel mehr als wir hüpfen und schwimmen, wir benutzen die Arme beim Essen, Schreiben, Musizieren, Greifen nach seitlichen Gegenständen u. s. w. viel häufiger als zu symmetrischer

Thätigkeit; eben deshalb kann auch für diese kein angeborenes anatomisches Substrat sich entwickelt haben, während ein solches für die symmetrischen Bewegungen derjenigen Geschöpfe, die ihre Extremitäten im wesentlichen nur in der symmetrischen Kombination zweckmässig verwenden, z. B. für die Flügelbewegungen der Vögel, sehr wohl denkbar ist. Und als dritte Bedingung symmetrischer Einübung würde dann schliesslich jene Erscheinung gelten, dass einseitige Bewegungen eine psychophysische Erregung hervorrufen, welche als Reiz für die Auslösung derjenigen Bewegungen der anderen Seite dient, die das Gleichgewicht und möglichst geringen Kraftaufwand des ganzen Körpers erzielen. Das gilt aber für die symmetrischen Bewegungen nur bei bestimmten Richtungen, während in anderen Richtungen symmetrische Bewegungen gerade den entgegengesetzten Effekt haben, eine feste Koordination der symmetrischen Gruppe also in jeder Beziehung biologisch unzweckmässig wäre. Dass die Wirksamkeit dieses Gesetzes sehr verschieden intensiv sein kann, zeigten die individuellen Unterschiede der Versuchspersonen; dieselben liessen übrigens deutlich erkennen, dass „nervöse“ Menschen diese Neigung zur symmetrischen oder unsymmetrischen Kompensation ihrer überflüssigen Mitbewegungen am stärksten besitzen, wie ja alle Reflexe bei ihnen besonders stark sind. — In welchem Sinne diese Ergebnisse praktischen Wert vom nationalökonomischen Standpunkt besitzen, ist klar. Wir sahen z. B., dass gleichsinnig-gleichphasige sowohl wie ungleichsinnige Vertikalkreise fast stets in gleichsinnig-ungleichphasige übergangen; soll der Arbeiter also mit beiden Händen ein vor ihm in der Medianebene stehendes Rad drehen, so werden die beiden Handgriffe nicht an einem Punkte ansetzen dürfen, sondern der rechte Handgriff muss vom linken durch einen Halbkreis getrennt sein, wenn die grösste Leistung mit geringstem psychophysischen Kraftaufwand bewirkt werden soll. In dieser Weise lässt sich fast jedes unserer Experimente in die Praxis umsetzen. — Der Psychologe und Phy-

siologe aber wird die, wie wir sahen, in beiden Wissenschaften herrschende Anschauung von der Entwicklung der einseitigen Willkürbewegung aufgeben müssen. Die einfache Annahme des naiven Bewusstseins erweist sich hier der komplizierten, in Konsequenz anatomischer Vorurteile entstandenen Theorie überlegen. Die Theorie will, dass wir von Natur stets beide Arme gleichzeitig symmetrisch bewegen, und wenn wir einen Arm allein bewegen wollen, wir es erst langsam erlernen müssen, die Mitbewegung des anderen Armes zu unterdrücken. Der Versuch dagegen macht es wahrscheinlich, dass solch Unterdrücken nicht nötig ist, weil die symmetrische Bewegung, soweit sie überhaupt vorkommt, erst unter bestimmten Bedingungen erworben wird, der natürliche Zustand dagegen die wechselseitige unabhängige Bewegung der Glieder zu sein scheint, mag sie unwillkürlich oder willkürlich erfolgen.

---