

Die Wahrnehmung von Bewegungen vermitteltst des Auges.

Von

L. WILLIAM STERN, Dr. phil.

(Mit einer Figur im Text.)

§ 1. Die Frage, wie wir Veränderungen vermitteltst des Gesichtssinnes wahrnehmen, kann in Bezug auf Intensitätswechsel, auf Farbenübergänge, auf Ortsveränderungen gestellt werden. Über die Auffassung von Helligkeitsveränderungen habe ich kürzlich die Ergebnisse einiger experimentellen Untersuchungen mitgeteilt;¹ nachfolgende Zeilen sollen sich mit dem Problem der Wahrnehmung von Ortsveränderungen, also von Bewegungen, beschäftigen. — Hierzu standen mir, anders als dort, in reichlichstem Maße Vorarbeiten zu Gebote; es ist ein beträchtliches, freilich weit verstreutes Thatachenmaterial vorhanden, es sind auch bereits Theorien aufgestellt, die allerdings fast alle nur einen Teil des Thatachenmaterials berücksichtigen und so einer gewissen Einseitigkeit nicht entbehren.

Ich stellte mir nun die Aufgabe, das Gebiet in vollem Umfange monographisch zu behandeln, indem ich die Thatachen sammelte und ordnete, nachprüfte und durch eigene Beobachtungen und Experimente ergänzte, und indem ich eine Theorie aufzustellen versuchte, welche möglichst vielen Thatachen gerecht zu werden vermag.

Noch ein Punkt sei hier hervorgehoben. Ich habe den Gegenstand der Abhandlung absichtlich nicht als „Das Sehen von Bewegungen“ bezeichnet, weil bei der Bewegungswahrnehmung vermitteltst des Auges auch Augenbewegungen und

¹ STERN, Über die Wahrnehmung von Helligkeitsveränderungen. *Diese Zeitschr.* Bd. VII. S. 249.

damit Muskelempfindungen u. s. w., also nichtoptische psychische Erscheinungen eine wichtige Rolle spielen und es nicht möglich war, die rein optischen Vorgänge isoliert zu behandeln. Der Titel schließt daher absichtlich alle seelischen Vorgänge ein, für welche das Auge in seinen verschiedenen Teilen, in der Netzhaut oder in den Muskeln, sinnliche Quelle oder motorisches Ziel ist.

I. Die Thatsachen.

§ 2. Ich beginne mit einer Übersicht über das gesamte Thatsachenmaterial, das, soweit meine Kenntnis reicht, gegenwärtig über die Wahrnehmung von Bewegungen vermittelt des Auges vorhanden ist. Die Thatsachen sind teils allgemeiner Art, wie sie jeder Selbstbeobachtung ohne weiteres zugänglich sind, teils spezielleren Charakters und nur durch besondere experimentelle Untersuchungen feststellbar. Sie beziehen sich 1. auf die Arten der Bewegungswahrnehmung, 2. auf deren Eigenschaften, 3. auf die Bewegungswahrnehmung in verschiedenen Netzhautregionen und umfassen 4. jene große Gruppe von Erscheinungen, die man unter dem Namen „Bewegungstäuschungen“ oder „Scheinbewegungen“ begreift.

Um die Orientierung über Einzelheiten zu erleichtern, habe ich jeder hier aufgezählten Thatsache sämtliche Paragraphen dieser Abhandlung, in denen auf dieselbe Bezug genommen wird, in Klammern beigelegt.

1. Die Arten der Bewegungswahrnehmung.

§ 3. a) Die Wahrnehmbarkeit der Ortsbewegung hat eine obere und eine untere Grenze, d. h. die Bewegung muß eine gewisse Mindestgeschwindigkeit haben, um als solche erkannt zu werden, und sie darf eine gewisse Maximalgeschwindigkeit nicht überschreiten, um als solche noch erkannt zu werden.

Unter „Geschwindigkeit“ ohne weiteren Zusatz ist hier stets die Winkelgeschwindigkeit in Bezug auf das Auge zu verstehen. — Die Bewegung eines Fixsternes hat noch nicht die untere Geschwindigkeitsgrenze erreicht. Was die obere Grenze anlangt, so müssen wir scheiden zwischen einer aperiodischen und einer periodischen Bewegung. Ein Körper (von nicht

allzustarker Intensität), der nur einmal an unserem Auge vorbeihuscht, bleibt, wenn die Geschwindigkeit zu groß ist, einfach unbemerkt; anders ein Körper, der eine periodische, immer im Gesichtsfeld bleibende Bewegung vollführt. Wenn hier die obere Geschwindigkeitsgrenze erreicht ist, tritt nicht einfache Empfindungslosigkeit, sondern der Eindruck einer Konstanz auf. Bekannte Beispiele: Die im Kreise geschwungene glühende Kohle, die schnell rotierende Scheibe mit schwarzen und weißen Sektoren etc. (§ 44.4.)

§ 4. b) Innerhalb der beiden Grenzen kann die Gesichtswahrnehmung einer Bewegung, je nach der Geschwindigkeit derselben, auf zwei verschiedene Weisen erfolgen.

Bei sehr langsamen Bewegungen gestaltet sich die Wahrnehmung so, daß in jedem einzelnen Moment der bewegte Gegenstand ruhend erscheint, daß aber eine Vergleichung des jeweilig gegenwärtigen Eindruckes mit den noch frischen Erinnerungsbildern der früheren Empfindungen uns zeigt, daß der Gegenstand seinen Standort gewechselt hat. Der Eindruck ist nicht der des Bewegtseins, sondern des Bewegtwordenseins, der Bewegungsvorgang selbst wird erst aus den einzelnen Phasen zusammengesetzt. Diese Art der Auffassung findet z. B. beim Stundenzeiger der Taschenuhr statt, auch wohl noch beim Minutenzeiger. Ein ganz anderes Bild bietet der Sekundenzeiger. Hier ist nichts mehr wahrzunehmen von einzelnen, in sich konstanten, scheinbar ruhenden Phasen; der unmittelbare sinnliche Eindruck liefert uns geradezu das Bild von etwas sich Bewegendem. Es bedarf nicht mehr der Herbeiziehung von Erinnerungsbildern früherer Eindrücke, um die Auffassung von Ortsveränderungen hervorzubringen. Wir wollen die beiden Wahrnehmungsarten mit den nichts präjudizierenden Ausdrücken: Wahrnehmung der Bewegungsphasen und Wahrnehmung des Bewegungsaktes bezeichnen. (§§ 35 bis 37, § 51.)

Am deutlichsten ist der grundverschiedene Charakter der beiden Wahrnehmungsweisen besonders dann zu erkennen, wenn man sie an einem und demselben Gegenstande nacheinander zu beobachten Gelegenheit hat, indem man entweder seine objektive Geschwindigkeit oder (durch Näherung bzw. Entfernung) seine Winkelgeschwindigkeit in Bezug auf das Auge

allmählich ändert. Bei einem aus weiter Ferne sich nähernden Wagen kann man die Bewegung zuerst nur daran erkennen, dass der Hintergrund des Wagens in verschiedenen Momenten ein anderer ist. Nach einiger Zeit aber tritt dann der rein sinnliche Eindruck auf, der uns in jedem einzelnen Augenblick den Wagen in Bewegung begriffen zeigt. — Das Umgekehrte ist der Fall bei einem aufsteigenden Luftballon.

Auf die Verschiedenheit zwischen der erschlossenen und der sinnlich aufgefassten Bewegung machte zuerst EXNER¹ aufmerksam. Experimentelle, von AUBERT² angestellte Untersuchungen ergaben, daß eine Winkelgeschwindigkeit von 1' bis 2' dazu gehöre, um den sinnlichen Eindruck einer Bewegung sofort wachzurufen. (§§ 25, 27.)

§ 5. c) Nach einem anderen Einteilungsprinzip lassen sich die Bewegungswahrnehmungen in zwei Arten sondern, je nach der Stellung des Auges zum bewegten Gegenstand. — Wir können nämlich denselben entweder mit dem Auge verfolgen, d. h. sein Bild stets an der gleichen Netzhautstelle behalten, oder ihn bei fixiertem, bezw. anderweitig bewegtem Auge an uns vorbeiziehen lassen, d. h. sein Bild auf der Netzhaut fortwährend den Platz wechseln lassen.

2. Eigenschaften der Bewegungswahrnehmung.

§ 6. a) Wir sind im stande, Bewegungen nach mehreren Richtungen oder in verschiedenen Geschwindigkeiten gleichzeitig wahrzunehmen. Beispiele: Auffassung der Flocken in einem Schneegestöber, der verschiedenen Pendel in einem Uhrenladen, der mannigfach gerichteten Touren in einem Ballet, des Auf- und Zuklappens eines Zirkels. Auch die gleichzeitigen Komponenten einer Geh-, Spring- oder Schwimmbewegung vermögen wir momentan aufzufassen. (§ 44. 5.)

§ 7. b) Bewegung kann merkbar sein ohne Erkennung der Richtung.

¹ EXNER, Über das Sehen von Bewegungen und die Theorie des zusammengesetzten Auges. *Wiener Akademie-Berichte (math.-naturw. Klasse)* III. Abt. Bd. 72. S. 159 ff. (1875).

² AUBERT, Die Bewegungsempfindung. *Pflügers Arch.* Bd. XXXIX. S. 347 (1886) und Bd. XL. S. 459 (1887). In Betreff der obigen Thatsache s. Bd. XXXIX. S. 353.

Wir haben zuweilen den Eindruck, daß sich etwas in unserem Gesichtsfelde bewegt habe, können uns aber nicht Rechenschaft geben, ob von rechts nach links oder umgekehrt; insbesondere ist dies möglich, wenn wir am geschlossenen Auge einen dunklen Gegenstand schnell vorbeiführen (überhaupt bei völlig homogenem, diffus beleuchtetem Gesichtsfeld), auch sonst bei sehr schnell bewegten oder vom Hintergrund sich wenig abhebenden Objekten. (§ 40.)

§ 8. c) Die unter § 5 genannten beiden Möglichkeiten, Bewegungen wahrzunehmen, liefern bei derselben objektiven Bewegung die Eindrücke verschiedener Geschwindigkeit; und zwar erscheint letztere kleiner, wenn man dem Objekt mit dem Auge folgt.

Am deutlichsten wird dies bei einer Wagenfahrt, wenn man die vorüberziehenden Pflastersteine beobachtet in der Weise, daß man bald einen dieser Steine, bald einen Teil des Wagentrittes fixiert. Stets wird beim Übergange des Fixationspunktes vom Stein zum Wagentritt das vorbeifliegende Pflaster mit einem merklichen Ruck seine scheinbare Geschwindigkeit vergrößern, im umgekehrten Falle verringern.

Zahlenmäßige Versuche wurden hierüber von FLEISCHL¹ und AUBERT² angestellt, von beiden mit Benutzung der Kymographionwalzen, auf denen sie Systeme schwarzer Linien rotieren ließen. Ersterer betrachtete dieselbe objektive Bewegung auf die beiden genannten Weisen und schätzte die Verschiedenheit des subjektiven Eindruckes; letzterer gab den bewegten Objekten solche Geschwindigkeiten, daß der subjektive Eindruck bei beiden Wahrnehmungen gleich erschien, und maß dann den objektiven Unterschied. Beide fanden, daß eine am Auge vorbeistreichende Bewegung doppelt so schnell erschien, als dieselbe Bewegung, wenn das Auge ihr folgt. (§§ 26, 55, 56.)

§ 9. d) Die Wahrnehmung der Bewegungen ist nicht an die gesonderte Auffassung einer Mehrheit von Zeitpunkten gebunden; d. h. die Minimalzeit, welche nötig ist, um den Eindruck der Bewegung zu ermöglichen, ist kleiner als die Minimalzeit, die erforderlich ist, damit zwei Eindrücke als gleichzeitig aufgefaßt werden.

¹ E. v. FLEISCHL, Physiologisch-optische Notizen. *Wiener Akademie-Berichte* Bd. 86 Abt. III. S. 17 ff. (1882).

² AUBERT, *Pflügers Arch.* Bd. XL. S. 459 ff.

Über diese Thatsache liegt nur eine Bemerkung EXNERS¹ vor: „Tritt ein Lichtblitz im Punkte *a* des Sehfeldes auf und 0,045 Sekunden später ein solcher im Punkte *b*, so werden sie eben noch als zeitlich verschieden erkannt. Sind diese Punkte aber Anfangs- und Endpunkte einer wirklichen oder scheinbaren Bewegung, so wird ihre zeitliche Differenz noch bei 0,014 Sekunden erkannt. Man sieht dann eben einen hellen Punkt sich von *a* nach *b* bewegen.“ (§ 46.)

§ 10. e) Das Vorhandensein ruhender Objekte im Gesichtsfeld trägt viel zur Genauigkeit der Bewegungswahrnehmung bei.

Sind ruhende Objekte vorhanden, so ist man erstens vor gewissen Täuschungen geschützt (§ 19 β), zweitens wird die Bewegung schon bei einer geringeren Geschwindigkeit sicher wahrgenommen, als ohne solche. — Hierfür finden sich in AUBERTS Versuchen manche Bestätigungen; s. auch meine eigenen Experimente. (§§ 27, 29. 1, 30. 4.)

§ 11. f) Für mäfsig bewegte Objekte ist *ceteris paribus* die Unterschiedsempfindlichkeit gröfser, als für ruhende.

So wird ein nicht mehr sichtbarer Schatten sofort wieder deutlich, sobald man das Licht oder den schattenwerfenden Gegenstand bewegt. Hierüber hat SCHNEIDER² eine Reihe von Experimenten angestellt und gefunden, dafs die Unterscheidungsfähigkeit bei ruhendem und bewegtem Schatten sich etwa wie 1:2 verhalte. (§§ 25, 41.)

§ 12. g) Mäfsig bewegte Objekte lenken *ceteris paribus* die Aufmerksamkeit leichter auf sich, als ruhende.

Daher halten sich Spione und Räuber regungslos (nicht nur um Geräusch zu vermeiden). Tiere, die auf Beute lauern oder die verfolgt werden, stellen sich tot. Andererseits macht man sich bemerkbar durch Hüte- und Taschentuchschwenken. [SCHNEIDER.] (§§ 25, 41.)

§ 13. Die Relativität der Bewegungen ist keine Eigenschaft der Bewegungswahrnehmung, sondern der Be-

¹ A. a. O., S. 161.

² C. H. SCHNEIDER, Warum bemerken wir mäfsig bewegte Dinge leichter als ruhende? *Vierteljahrsschr. f. wissensch. Philosophie* Bd. II. S. 377 (1878).

wegungsvorstellung. Doch wird sich später Gelegenheit finden, zu zeigen, welche Eigentümlichkeiten der Sinneswahrnehmung zur Bildung dieser Vorstellung beigetragen haben. (§§ 53, 54.)

3. Die Bewegungswahrnehmungen in verschiedenen Gebieten der Netzhaut.

§ 14. a) Die Sehschärfe für Bewegungen ist in den seitlichen Netzhautgebieten viel geringer als im Centrum.

Meine eigenen Experimente ergeben Folgendes: War ein sich bewegendes Objekt um 20° vom Fixationspunkt seitlich entfernt, so mußte es, um als bewegt eben wahrgenommen zu werden, eine Elongation machen, die das Fünffache von der beträgt, welche bei direktem Sehen gerade noch bemerkt wurde. (§ 30, 2. Anm.)

§ 15. b) Auch in anderen Beziehungen ist die Aufnahmefähigkeit der seitlichen Netzhautteile für Bewegungen geringer als die des Centrums.

Schon CZERMAK¹ fand, daß die Bewegung des Sekundenzeigers der Taschenuhr bei indirektem Sehen viel langsamer erschien, als bei direktem. Dies fand experimentelle Bestätigung durch AUBERT,² der nachwies, daß die Geschwindigkeit, bei welcher objektive Bewegung sofort und unmittelbar als solche aufgefaßt wurde, um so mehr erhöht werden mußte, mit je seitlicheren Teilen der Retina man sie beobachtete. (§ 27. 2.)

§ 16. c) Im direkten Sehen ist die Sehschärfe für Bewegung und für Ruhe gleich. — S. die Ergebnisse meiner Experimente § 30. 1, ferner § 42.

§ 17. d) Im indirekten Sehen ist bei großer und mittlerer Helligkeit die Sehschärfe für Bewegung beträchtlich größer als für Ruhe. Der Unterschied nimmt ab mit abnehmender Helligkeit. Auf die erste Tatsache machte EXNER³ zuerst aufmerksam. Schiebt man einen Finger von hinten her ins Gesichtsfeld, so giebt es eine Stellung, wo er im Ruhezustand unsichtbar ist, wo aber die geringste Bewegung scharf auffällt. (Aus eigener Beobachtung

¹ CZERMAK, Ideen zu einer Lehre vom Zeitsinn. *Wiener Akademie-Berichte*. Bd. XXIV. S. 231 (1857).

² AUBERT, *Pflügers Arch.* Bd. XXXIX. S. 362 ff.

³ A. a. O., S. 162.

kann ich hinzufügen, daß dies sogar der Fall ist, wenn die Bewegung nach hinten, also aus dem Sehfelde heraus, vor sich geht.) In einer Netzhautgegend, in der zwei ruhende Gegenstände (Finger, Papierschnitzel) nicht mehr als zwei erkannt werden, wird eine Bewegung noch wahrgenommen, deren Elongation geringer ist, als der (nicht mehr wahrgenommene) Abstand der zwei Objekte. — Meine eigenen experimentellen Untersuchungen ergeben, daß im seitlichen Sehen bei starker Helligkeit die eben noch wahrnehmbare Trennungstrecke zweier ruhenden Objekte etwa viermal so breit sein muß, wie die Elongation einer Bewegung, die an der Schwelle der Wahrnehmbarkeit steht; bei sehr geringer Helligkeit waren dagegen jene Strecken gleich. (§§ 29—31, § 42.)

4. Optische Bewegungstäuschungen. (Sogenannte Scheinbewegungen.)

§ 18. Unter einer optischen Bewegungstäuschung verstehe ich einen Gesichtseindruck, dessen naive Interpretation, welche ihn auf eine objektive Bewegung bestimmter Art zurückführt, durch die Reflexion eine Widerlegung, bezw. Korrektur erfährt. Unter einer objektiven Bewegung verstehe ich hier jede Ortsveränderung in Bezug auf die Person des Beobachtenden. Somit macht die Landschaft gegen den in der Eisenbahn an ihr Vorbeifahrenden eine objektive Bewegung. Mit bloßer Berücksichtigung des rein Thatsächlichen sind hier vier Möglichkeiten von Scheinbewegungen vorhanden; alle vier finden sich in der Erfahrung verwirklicht:

§ 19. a) Obwohl das Gesichtsfeld objektiv in Ruhe ist, entsteht dennoch der Eindruck einer Bewegung. Ich will diese Art der Täuschungen als „Trugbewegungen“ bezeichnen. Solche treten auf:

a) Bei starrer und längerer Fixation. Es kann dann das Objekt plötzlich zu vibrieren anfangen und in die lebhaftesten Bewegungen geraten, so daß man es für ein hin- und herkriechendes Insekt halten könnte. (S. HOPPE¹ S. 1, ferner § 50.)

β) Bei völliger Isolation im Gesichtsfeld. Ein glühender Draht, den AUBERT² in einem sonst absolut dunklen Zimmer

¹ J. HOPPE, *Die Scheinbewegungen*. Würzburg 1879.

² AUBERT, *Pflügers Arch.* Bd. XL. S. 469.

als einziges Objekt wahrnahm, schien bei objektiver Ruhe sich öfters lebhaft und schnell zu bewegen, und umgekehrt. Das Gleiche beobachtete CHARPENTIER.¹ (§ 27. 3; s. auch meine Experimente §§ 29. 1, 30. 4.)

γ) Bei Augenmuskellähmungen. Sobald versucht wird, das gelähmte Auge zu drehen, scheint die Umgebung nach derselben Seite eine Drehung zu vollführen. (§ 50.)

δ) Bei Intensitätsveränderungen. Jede Erhellung erscheint als eine Vergrößerung, jede Verdunkelung als eine Verkleinerung des erleuchteten Objektes. Freilich gehen ja Gestalts- und Helligkeitsveränderungen oft Hand in Hand (so bei allen Flammen); aber selbst da, wo jede objektive Gröfsenveränderung des hellen Gegenstandes absolut ausgeschlossen ist, hat man oft den unverkennbaren Eindruck, als „rühre sich etwas im Sehfeld“.² (§ 39, Anm.)

§ 20. b) Eine objektive Bewegung ist vorhanden, erscheint aber in anderer Form. „Umgeformte Bewegungen.“

α) Die bekanntesten hierhergehörigen Täuschungen sind die stroboskopischen, wo die objektive Bewegung einer Bilderreihe, deren Glieder sich fortwährend im Gesichtsfeld abwechseln, umgesetzt wird in eine ganz andersartige, an derselben Stelle des Gesichtsfeldes sichtbare, periodische Bewegung. Die Beschreibung der betreffenden Apparate, die unter den Namen: Stroboskop, Daedaleum, Schnellseher, Wunderkreisel einhergehen, darf ich mir an dieser Stelle wohl ersparen.³ (§§ 27, 44. 4.)

β) Eine Rotationsbewegung wird umgesetzt in eine geradlinige bei der Drehung von Schrauben und Spiralen. Ein mit Schraubengang versehener, senkrecht stehender Cylinder

¹ A. CHARPENTIER, *Comptes rendus* (Paris) Bd. CII. S. 1155 (1886).

² S. EXNER, Über die Funktionsweise der Netzhautperipherie etc. *Graefes Arch.* 1886. S. 236.

³ Siehe u. a.: STAMPFER, *Jahrb. d. polytechn. Instituts z. Wien* Bd. XVIII (1833); PLATEAU, *Corresp. math. et phys. de l'observatoire de Bruxelles* Bd. VII. S. 365 (1833); HORNER, *Pogg. Ann.* Bd. XXXII. S. 650; UCHATIUS, *Wiener Akademie-Berichte* Bd. X. S. 482 (1853); STRICKER, *Studien über die Bewegungsvorst.* (1882); HELMHOLTZ, *Physiol. Optik.* 1. Aufl. S. 349, 2. Aufl. S. 494; O. FISCHER, *Philos. Studien.* III. S. 128. (1886); WUNDT, *Physiol. Psychologie.* 4. Aufl. Bd. II. S. 159/160. Siehe ferner die bei FISCHER S. 153 angeführte Litteratur.

bewirkt, in Rotation versetzt, daß die dem Auge sichtbaren parallelen, schräg gerichteten Teile der Schraubenlinie senkrecht nach oben oder unten sich zu bewegen scheinen. Besonders deutlich ist die Täuschung an den seitlichen Rändern des sichtbaren Cylinderteiles. — Eine ähnliche Täuschung zeigt die PLATEAUSche Spirale.¹ Eine grofse, schwarze, auf weifsen Grund gezeichnete Spirale erzeugt bei Drehung um ihren Ausgangspunkt den Schein von einem System von Kreisen, die, je nach dem Sinn der Drehung, in sich zusammenschrumpfen oder sich nach allen Seiten gleichmäfsig ausdehnen. (§§ 24, 45, 58 Anm.)

γ) Eine nach nur einer Seite gerichtete Bewegung wird in eine Rotationsbewegung umgesetzt bei Eisenbahnfahrten. Fixiert man einen Punkt der Landschaft, so scheinen sich alle übrigen Punkte um diesen zu drehen, und zwar die näher gelegenen entgegengesetzt der Fahrtrichtung.² Genau den gleichen Eindruck einer scheinbaren Rotation erzielte ich, wenn ich in der Mitte eines Pendels eine Marke anbrachte und diese bei den Schwingungen des Pendels fixierte. (§ 56.)

δ) Eine Verschiebung zweier bewegter Gegenstände hintereinander bewirkt Täuschungen verschiedener Art. — Die scheinbaren Durchschnittspunkte der Begrenzungslinien der beiden Gegenstände bilden successive eine Kurve, und die Gestalt der letzteren ist entweder bestimmend für die Form, in der wir das nach hinten gelegene Objekt sehen, oder für die Richtung der Scheinbewegung, welche neben den beiden anderen Bewegungen oder an deren Stelle auftritt. Ersteres ist der Fall bei der Speichentäuschung. Wird ein Gitter mit senkrechten Stäben gegen ein sich drehendes Rad verschoben, so erscheinen die Speichen des Rades sämtlich gekrümmt, und zwar derart, daß sie ihre konvexe Seite alle nach unten kehren. Nur die jeweilig senkrechten Speichen bleiben unverändert.³ (§ 46.) — Weit häufiger ist die zweite Erscheinungsform der Täuschung. Bei Verschiebung zweier Staketenzäune oder zweier Drahtgitter gegeneinander,⁴ ferner

¹ PLATEAU, *Pogg. Ann.* Bd. LXXX. S. 287 (1850).

² FLEISCHL, a. a. O., S. 23.

³ ROGET, *Pogg. Ann.* V. S. 93. Hiermit nicht identisch, doch sehr ähnlich sind die Täuschungen, welche PLATEAU (*Pogg. Ann.* XX. S. 319) und FARADAY (*Pogg. Ann.* XXII. S. 601) beschreiben.

⁴ O. FISCHER, *Philos. Studien.* III. S. 154.

bei Betrachtung des rotierenden, aus Messingbügeln gebildeten Modells für die Erdabplattung¹ sieht man über die dem Auge näheren Objekte fortwährend Streifen oder Schatten hinweghuschen, die in ihrer Richtung durchaus jener scheinbaren Durchschnittskurve entsprechen. Ebenso scheint, wenn man bei der Eisenbahnfahrt zwei windschiefe Telegraphendrähte betrachtet, der scheinbare Durchschnittspunkt, gleich einem sich selbst identisch bleibenden Objekte, pfeilschnell dahinzufiegen. (§§ 39, 45.)

ε) Ein von einem Anfangspunkte aus sich fortpflanzender Bewegungsvorgang, der fortwährend andere Teile einer in sich gleichartigen Masse in Mitleidenschaft zieht, erweckt den Eindruck, als ob ein und dasselbe Teilchen den Weg zurücklege, der durch die Fortpflanzungsrichtung des Gesamtvorganges bestimmt ist. Dieses Phänomen zeigen alle Körper, an denen transversale Schwingungen zur Anschauung kommen, insbesondere die Wasserwellen, in welchen erst ein nicht homogenes Objekt, z. B. ein Stückchen Holz, beweist, dafs jedes einzelne Teilchen eine zur Fortpflanzungsrichtung der Welle senkrechte Bewegung vollführt. Auch die Schwingungen des an einem Ende befestigten Seiles, durch welche man gewisse Undulationserscheinungen zu veranschaulichen pflegt, erregen den Anschein, als ob an dem Seile von einem Ende zum anderen schnell etwas entlanghusche. Die Täuschung tritt ferner mit grofser Deutlichkeit auf, wenn der Wind über das Ährenfeld hinwegzieht, oder wenn durch kompakte Menschenmassen, die man von weitem betrachtet, eine Erregung sich zu verbreiten beginnt. (§ 45.)

§ 21. c) Eine objektive Bewegung ist vorhanden, erscheint aber (nur oder auch) an einem anderen Gegenstande: „Übertragene Bewegungen“.

Ein durch das ruhende Gesichtsfeld sich bewegendes Objekt kann, insbesondere, wenn es den gröfseren Teil des Gesichtsfeldes einnimmt und die Bewegung sehr gleichförmig ist, als ruhend gelten, und es scheint dann, als ob die in Wirklichkeit unbewegten Gegenstände im Gesichtsfelde sich gegen jenes verschöben. So jagt der Mond scheinbar pfeilgeschwind durch

¹ EMSMANN, *Pogg. Ann.* LXIV. (WUNDT citiert in der 3., wie in der 4. Aufl. seiner *Physiol. Psychologie* fälschlich LIV S. 326.)

die Wolken; so kann man sich, wenn man von einer Brücke in schnell fließendes Wasser blickt, sehr bald dem ganz frappanten Eindrücke nicht mehr entziehen, als ob man sich samt der Brücke rasch stromaufwärts bewege. Auf einer entsprechenden Täuschung beruht das Prinzip der Wandeldekoration. Dafs eine Bewegung zum Teil auf eine andere übertragen wird, findet sich bei dem von VIERORDT¹ erwähnten Fingerphänomen: Spreizt man zwei Finger in der Weise, dafs man nur den einen bewegt, den anderen ruhig hält, so scheint es durchaus, als ob beide sich aktiv an der Spreizbewegung beteiligen.² (§ 54.)

§ 22. d) Nachdem eine objektive Bewegung abgelaufen ist, erscheint der Eindruck einer Bewegung: „Nachbewegungen“.³ Sie sind vielleicht die wichtigsten aller optischen Bewegungstäuschungen. Die Nachbewegungen können der primären Bewegung entweder entgegengesetzt oder gleichgerichtet sein; berichtet wurde bisher mit einer einzigen Ausnahme nur von der ersteren Art. (§§ 32—34, §§ 57—59.)

a) Eine entgegengesetzt gerichtete Nachbewegung wird erzeugt, wenn man längere Zeit eine gleichförmige Bewegung beobachtet hat und dann den Blick auf ein stillstehendes Objekt richtet. Hier ist vor allem des oft beschriebenen Uferphänomens zu gedenken.⁴ Hat man ein lebhaft strömendes

¹ K. VIERORDT, Die Bewegungsempfindung. *Zeitschrift für Biologie* XII. S. 233. (1878.)

² Eine Anzahl anderer übertragener Bewegungen gehört eigentlich nicht hierher, sei aber doch kurz erwähnt. Es sind solche Täuschungen, bei denen thatsächlich der für bewegt gehaltene Gegenstand eine Ortsveränderung in Bezug auf die Person des Beobachtenden ausführt. Unbeachtet bleibt hier nur, dafs diese Ortsbewegungen durch Eigenbewegungen des Beobachters erzeugt werden, so dafs jener Gegenstand zwar nicht zur Person des Sehenden, wohl aber gegen den Erdmittelpunkt sich in Ruhe befindet. Am leichtesten unbeachtet bleiben passive Eigenbewegungen. Daher halten wir für bewegt: wenn wir im Personenaufzug fahren, die Wände des Schachtes, wenn sich unser Eisenbahnzug in Bewegung setzt, einen auf dem Nebengeleise stillstehenden Zug, wenn man im schwankenden Schiffe sitzt, die an der Decke hängenden, in Wirklichkeit die senkrechte Richtung bewahrenden Gegenstände.

³ Ich vermeide, aus später zu erörternden Gründen, absichtlich den Namen „Bewegungsnachbilder“.

⁴ S. u. a.: J. OPPEL, Neue Beobachtungen u. s. w. *Pogg. Ann.* Bd. IC. S. 540. HOPPE, a. a. O., E. BUDDE, Über metakinetische Scheinbewegungen. *Arch. f. (Anat. u.) Physiol.* 1884. S. 127.

Gewässer (Fluss, Wasserfall) mehrere Sekunden lang unverwandt betrachtet, so scheint nachher, wenn man den Blick dem Ufer oder einem anderen Gegenstande zuwendet, dieser in der entgegengesetzten Richtung begriffen zu sein. Dieselbe Nachwirkung bringt die Betrachtung der PLATEAUSCHEN Spirale hervor; zogen sich während der Rotation die scheinbaren Kreise zusammen, so schien sich nachher ein betrachtetes Objekt von einem Centrum aus auszudehnen, und umgekehrt. (§§ 24, 34, 58.) Bei diesen entgegengerichteten Bewegungen sind nun einige Einzelheiten sehr bemerkenswert:

1. Die Nachbewegung findet nur in der Gegend des Gesichtsfeldes statt, in welcher vorher die Bewegung wahrgenommen wurde. Es kann sich also die Mitte anscheinend lebhaft bewegen, während die Seiten in Ruhe bleiben, ohne doch von ihr losgerissen zu werden. OPPEL beschreibt diesen eigentümlichen Eindruck sehr anschaulich.

2. Die Nachbewegungen können gleichzeitig mehrere Richtungen haben. DVOŘAK¹ variierte den PLATEAUSCHEN Spiralversuch, indem er auf einer Scheibe drei Spiralen anbrachte, KLEINER,² indem er drei Scheiben nahm; beide Male war die mittlere Spirale den anderen entgegengesetzt gerichtet. Die erzeugten Kreise bewegten sich auch im Nachbilde gegeneinander. Das gleiche Phänomen brachte HOPPE³ neuerdings hervor, der zur Erzeugung entgegenlaufender Bewegungen sich der Spiegelung bediente.

3. Hat man mit dem rechten Auge bei geschlossenem linken die primäre Bewegung beobachtet, so kann man mit dem linken Auge bei geschlossenem rechten die Nachbewegung wahrnehmen. (KLEINER,² DVOŘAK.¹)

4. Die Nachbewegung kann unter Umständen mit einer neu wahrgenommenen Bewegung zu einem dritten Bewegungseindrucke kombiniert werden. So sah KLEINER² nach Beobachtung einer PLATEAUSCHEN Spirale und bei Beobachtung einer sich drehenden Sektorenscheibe die Radien der letzteren sämtlich in der Form eines flachen Bogens.

¹ DVOŘAK, Versuche über Nachbilder von Reizveränderungen. *Wien. Akad.-Berichte* LXI. II. Abt. S. 257. (1871).

² KLEINER, Über Scheinbewegungen. *Pflügers Arch.* XVIII. S. 572.

³ HOPPE, Studie zur Erklärung gewisser Scheinbewegungen. *Diese Zeitschrift.* Bd. VII. S. 29 ff.

5. Aus vielfältigen eigenen Beobachtungen vermag ich noch folgendes anzuführen: Schließt man nach gesehener Bewegung beide Augen, so kann man unter Umständen im Lichtstaub der geschlossenen Augen eine entgegengesetzte Nachbewegung erkennen, besonders dann, wenn die primäre Beobachtung ziemlich lange gedauert hat. (S. meine experimentellen Untersuchungen §§ 32.1, 33 a, ferner § 58.)

Eine sehr intensive, entgegengerichtete Nachbewegung tritt beim Drehschwindel auf; dieselbe kann längere Zeit anhalten und unterscheidet sich prinzipiell von den bisher geschilderten schon dadurch, daß sie stets das ganze Gesichtsfeld ergreift (§ 59).

β) Über gleichgerichtete Nachbewegungen habe ich nur eine einzige Notiz gefunden bei ENGELMANN.¹ Derselbe hat bei einer Eisenbahnfahrt Nachbilder dadurch erzeugt, daß er das ausgeruhte, dem Wagenfenster zugekehrte Auge rasch öffnete und wieder schloß. Bald entwickelte sich das Nachbild, und zwar das des Wagenfensterrahmens stillstehend, das der Gegend sich in wirklicher Richtung bewegend. Die Scheinbewegung kam um so deutlicher zu stande, je weniger scharf sich die Gegenstände im Nachbilde abzeichneten. Änderte er in der Vorstellung die Richtung des Zuges, was ihm leicht gelang, so änderte sofort das Nachbild seine Richtung.

Ich selbst habe über den gleichen Gegenstand eine gröfsere Zahl von Beobachtungen, zum Teil auf experimentellem Wege, angestellt (§§ 32, 33), die in vielen Punkten mit ENGELMANN'S Resultaten übereinstimmen. Dieselben ergaben, daß, unmittelbar nachdem das Auge kurze Zeit eine objektive Bewegung gesehen hatte und dann verdeckt worden war, eine ganz kurzdauernde, aber sehr deutliche, gleichgerichtete Nachbewegung wahrgenommen wurde. Die bei der primären Beobachtung ruhenden Gegenstände waren auch im Nachbilde ruhend.

Zu erwähnen wären hier noch endlich die Nachwirkungen, welche sich nicht unmittelbar an das Sehen einer Bewegung anschließen, sondern erst einige Zeit (Minuten, ja Stunden) später, aber mit völlig sinnlicher Lebhaftigkeit und unwillkürlich auftreten. (FECHNER² sprach hier von „Sinnengedächtnis“.)

¹ Th. W. ENGELMANN, Über Scheinbewegung in Nachbildern. *Jenaische Zeitschr. f. Med. u. Naturw.* III. Bd. S. 443. (1867.)

² G. Th. FECHNER, *Elemente d. Psychophysik* S. 498 ff.

Er beobachtete die Erscheinungen einmal im Bette, wo er plötzlich einen Zeiger vor einer Skala wandern sah; auch ich kann sie aus eigener Erfahrung bestätigen. Als ich die im HELMHOLTZschen Ophthalmometer erzeugten Doppelbilder einer feinen Skalenteilung oft gegeneinander verschoben hatte, sah ich eine Viertelstunde später die beiden Bilder mit ihren feinen Teilstrichen sich deutlich gegeneinander bewegen, ebenso ein anderes Mal, als ich bei Gelegenheit von Ablesungen einen Nonius oft an einer Teilung hatte vorbeistreichen sehen. Auch diese Phänomene des Sinnengedächtnisses scheinen stets gleichgerichtet zu sein (§ 60).

§ 23. Nicht unerwähnt lassen möchte ich noch eine optische Bewegungstäuschung, welche ganz vereinzelt dazustehen scheint und zur Zeit noch völlig unerklärt ist. Läßt man ein gitterartiges Objekt an dem anderweitig fixierten Auge vorbeiziehen, so erscheinen die einzelnen Stäbe wellenartig gekrümmt, bei mitgehendem Auge oder bei ruhendem Objekt und Auge machen sie dagegen den normalen, geradlinigen Eindruck. So beschreibt FLEISCHL¹ die Erscheinung, und ganz ähnlich habe auch ich sie beobachtet (S. § 34, Anm.); HELMHOLTZ dagegen hat bei sehr feinen Gittern die Wellung auch im Ruhezustande bemerkt, doch ist es möglich, daß es sich hier um zwei völlig getrennte Phänomene handelt.

II. Historisches.

§ 24. Das Problem der Wahrnehmung von Bewegungen ist noch ziemlich neu, ja eigentlich noch nicht ganz zwei Jahrzehnte alt. Früher war es den Forschern (physiologischen, wie psychologischen) entweder entgangen, daß hier eine Frage von prinzipieller Bedeutsamkeit der Lösung harrte, oder man begnügte sich damit, die Auffassung von Bewegungen als ein Schlußverfahren hinzustellen; daraus, daß derselbe Gegenstand zu verschiedenen Zeiten verschiedene Örter innehatte, wurde gefolgert, daß er seinen Platz verlegt und somit sich bewegt habe. Diese Annahme fand dann ihre Stütze und auch gründlichere Formulierung in der Reihentheorie HERBARTS und der Herbartianer und wird z. B. von VOLKMANN² folgendermaßen

¹ FLEISCHL, a. a. O., S. 8.

² VOLKMANN, *Lehrbuch der Psychologie*. III. Aufl. S. 107.

ausgesprochen: „Gesetzt. . . , die Reihe $ABCDE$ sei uns als Raumreihe bekannt, und ich komme bezüglich der Vorstellung M zu dem Bewußtsein, daß M als Empfindung mit den einzelnen Gliedern dieser Raumreihe successiv gleichzeitig ist (was dann eintritt, wenn wir uns $ABCDE$ als den Hintergrund denken, in dessen Einzelflächen M successiv seine Stelle einnimmt), so involviert dies das Bewußtwerden, daß die durch die Empfindung des M und je eines Gliedes der Reihe bezeichneten Gegenwarten das nacheinander zurücklegen, was in der Reihe nebeneinander steht, d. h. es entwickelt sich das Vorstellen der Bewegung. AM ist nicht mehr Empfindung, wenn BM Empfindung ist, und doch sind A und B nebeneinander. M verschmilzt nacheinander mit einem Nebeneinander.“

Die speziellere Forschung hatte allerdings schon vorher vorübergehend einige hierhergehörige Probleme gestreift; es waren nämlich (wie es fast stets zu Beginn der Erforschung psychologischer Fragen zu geschehen pflegt) abnorme Phänomene, in unserem Falle also Bewegungstäuschungen, beobachtet und beschrieben worden. So machte schon 1825 ROGET¹ auf die Radspeichentäuschung aufmerksam; 1832 wurde das Stroboskop gleichzeitig von PLATEAU² und STAMPFER³ erfunden; 1850 beschrieb PLATEAU⁴ die nach ihm benannte Spirale, 1856 OPPEL⁵ die Ufertäuschung und einen Apparat, der sie veranschaulichen soll, das Antirheoskop. Auch HELMHOLTZ⁶ beschäftigt sich in der ersten Auflage seiner physiologischen Optik nur mit den Bewegungstäuschungen; auf gleichem Gebiete bewegen sich die Notizen von ENGELMANN⁷ und KLEINER.⁸

§ 25. Ausgesprochen, doch nicht ausgeführt wurde das

¹ ROGET, *Pogg. Ann.* Bd. V. S. 93. Über die gleiche Erscheinung s. a. : PLATEAU, *Pogg. Ann.* Bd. XX. S. 319; FARADAY, *Pogg. Ann.* Bd. XXII. S. 601; EMSMANN, *Pogg. Ann.* Bd. LXIV. S. 326; O. FISCHER, *Philos. Stud.* Bd. III. S. 151.

² PLATEAU, *Correspond. math. et phys. de l'observatoire de Bruxelles.* VII. S. 365.

³ STAMPFER, Die stroboskopischen Scheiben etc. *Jahrb. d. polytechn. Instit. z. Wien.* Bd. XVIII. (1833.)

⁴ PLATEAU, *Pogg. Ann.* Bd. LXXX. S. 287. (1850).

⁵ OPPEL, *Pogg. Ann.* Bd. IC. S. 540. (1856).

⁶ HELMHOLTZ, *Physiol. Optik.* I. Aufl. S. 603 ff., 609.

⁷ ENGELMANN, *Jenaische Ztschr. f. Med.* etc. III. S. 443.

⁸ KLEINER, *Pflügers Arch.* XVIII. S. 572.

Problem, wenigstens seiner physiologischen Seite nach, schon 1857 von CZERMAK,¹ aber erst EXNER² blieb es vorbehalten, das Fundament zu einer intensiveren Forschung zu legen. EXNER wandte sich gegen die Schlusslehre und hob den Anteil des rein sinnlichen Elements am Bewegungssehen hervor; seine Ausführungen gipfeln in dem Satze, daß es, abgesehen von der bloß erschlossenen Bewegung, eine Bewegungsempfindung sui generis gebe. Er stützt sich hierbei auf die sub §§ 4, 7, 9, 17 angeführten Thatsachen, ferner darauf, daß der Eindruck eines Bewegungsaktes (§ 4) den durchaus elementaren, unbeschreibbaren und nicht weiter analysierbaren Charakter einer Empfindung trage. — Nun fand die Annahme einer derartigen spezifischen „Bewegungsempfindung“ bald Verbreitung; so trat für eine solche schon wenige Jahre darauf VIERORDT³ ein, der sie, gleich EXNER, für so primitiv hielt, daß er nicht daran dachte, ihre sinnlichen Konstituenten aufzusuchen. Nach ihm „verschaffen uns die Raumsinnorgane (Cutis und Auge) von dem bewegten Objekte immer nur Bewegungsempfindungen“. Er gründet seine Behauptung namentlich auf die Häufigkeit von Bewegungstäuschungen, welche Residuen der naiven, von keiner Reflexion getrüben Auffassung wären und daher die Ursprünglichkeit der Bewegungswahrnehmung bewiesen. — In gleicher Weise nimmt auch neuerdings JAMES⁴ eine unanalysierbare Bewegungsempfindung an. — SCHNEIDER⁵ macht darauf aufmerksam, wie die Tiere insbesondere für Bewegungen empfänglich seien, wodurch der elementare Charakter von deren Auffassung bestätigt würde, doch spricht er nicht von einer eigentlichen Bewegungsempfindung. Er beweist ferner experimentell die größere Unterschiedsempfindlichkeit des Menschen für Bewegungen und sucht eine Erklärung darin, daß hier eine Art Summation von simultaner und successiver Differenz stattfinden müsse.

¹ CZERMAK, *Wiener Akad.-Ber.* XXIV. S. 231.

² EXNER, Über das Sehen von Bewegungen und die Theorie des zusammengesetzten Auges. *Wien. Akad.-Ber.* III. Abt. Bd. LXXII. S. 156 ff. (1875.)

³ K. VIERORDT, Die Bewegungsempfindung. *Zeitschr. f. Biolog.* XII. S. 233.

⁴ W. JAMES, *Principles of Psychology.* Bd. II. S. 171 ff. (1890.)

⁵ C. H. SCHNEIDER, Warum bemerken wir mäfsig bewegte Objekte etc.? *Vierteljahrsschr. f. wissensch. Philosophie.* II. S. 377 ff. (1878.)

§ 26. Nachdem man nun einmal auf den sinnlichen Charakter der Bewegungswahrnehmung aufmerksam geworden war, konnte es nicht ausbleiben, daß man diesen Empfindungsanteil näher zu definieren suchte, und vor allem kamen hier zwei Faktoren in Betracht: die Muskelempfindung und die rein optische Empfindung. — Zuerst sei hier die experimentelle Arbeit FLEISCHLS¹ erwähnt, der das Verhältnis beider Wahrnehmungsarten zu einander festzustellen suchte. Er beobachtete liniertes Papier, das auf der Kymographiontrommel rotierte, und fand, daß die Geschwindigkeit doppelt so groß schien, wenn er eine ruhende Marke vor dem bewegten Objekte fixierte, als wenn er letzterem mit dem Auge folgte. Dieses Resultat setzte ihn fast in Schrecken; denn die Voraussetzung, daß unser Urteil über die Geschwindigkeit der Bewegung davon unabhängig sei, auf welche Weise wir die Bewegung wahrnehmen, schien ihm „geradezu als eine Bedingung für ein zusammenhängendes, keine Widersprüche in sich tragendes Verständnis der Außenwelt“.²

Im übrigen fand sowohl dieser wie jener Faktor der Bewegungswahrnehmung seine Verfechter, die mit einer gewissen Einseitigkeit das betreffende Moment als alleinige Konstituente des Bewegungsphänomens hinstellen wollten. — Daß unsere gesamten Bewegungsvorstellungen auf Muskelempfindungen und nichts weiter zurückzuführen seien, ist STRICKERS³ Meinung, und zwar stützt er sich hierbei fast lediglich auf die Erinnerungsbilder von Bewegungen. Er behauptet, man könne sich keine Bewegung in der Erinnerung vorstellen, ohne lebhaft empfundene Muskelgefühle zu haben, entweder im Auge, oder in dem als bewegt gedachten Glied. Auch die stroboskopischen Täuschungen beruhten auf Augenbewegungen und somit auf Muskelgefühlen. Besonders häufig sind letztere als Ursachen der Scheinbewegungen, namentlich des Uferphänomens hingestellt worden, so von HELMHOLTZ,⁴ von BUDE⁵ und in dem recht breit ge-

¹ E. v. FLEISCHL, *Physiol.-opt. Notizen*. V. VI. *Wiener Akad.-Ber.* Bd. LXXXVI. III. Abt. S. 17 ff. (1882.)

² A. a. O., S. 18.

³ STRICKER, *Studien über die Bewegungsvorstellungen*. Wien 1882.

⁴ HELMHOLTZ, *Physiolog. Optik*. I. Aufl. S. 619.

⁵ E. BUDE, Über metakinetische Scheinbewegungen etc. *Arch. f. (Anat. u.) Physiol.* 1884. S. 127.

schriebenen Buche HOPPEs.¹ Ein bedeutender Anteil der Muskelempfindung an der Bewegungsauffassung ist fast von keinem Bearbeiter des Problems gelegnet worden. Einen interessanten Gegensatz zu obigen Anschauungen bilden die Ausführungen GOLDSCHIEDERS,² daß die Muskeln des Augapfels im Gegensatz zu anderen Muskeln keine direkten Bewegungsempfindungen vermitteln können, sondern daß wir hier lediglich Lageempfindungen haben. (D. h.: Obwohl wir von jeder Lage in jedem Moment ein klares Bewußtsein haben, so ist doch der Übergang von einer Lage in die andere selbst nicht von Empfindungen begleitet.)

§ 27. Der andere Faktor des Bewegungssehens ist der rein optische. Über ihn findet sich schon 1871 eine Notiz bei DVOŘAK,³ der durch seine dreifache Spirale (s. o. § 22) bewies, daß die von HELMHOLTZ gegebene Erklärung der Nachbewegungen durch Muskelgefühle nicht genügte. Er glaubt daher, daß „die Bewegungsnachbilder auf einen eigentümlichen Konnex benachbarter Netzhautstellen schliessen lassen“. — Die weitaus wichtigste Aufklärung über dies Gebiet verdanken wir AUBERT,⁴ der die meisten Fragen des normalen Bewegungssehens in einer ausgedehnten Reihe von Experimenten behandelte. Er dachte zunächst so wenig an die Möglichkeit der Augenbewegungen und der dadurch erzeugten Muskelempfindungen, daß er es unterläßt, durch Anbringung eines Fixationszeichens diese auszuschalten, wodurch leider einige Unzuverlässigkeit, wenigstens in die erste Serie seiner Versuche, kommt. Dennoch sind diese lehrreich genug. Sein Beobachtungsobjekt war stets senkrecht liniertes Papier, das sich auf einer in der Rotationsgeschwindigkeit variierbaren Kymographiontrommel befand. Er untersuchte 1. die Winkelgeschwindigkeit, bei welcher im direkten Sehen die Bewegung sofort empfunden wurde, und fand als solche 1' bis 2'. Sodann berechnet er, daß bei 1' Winkelgeschwindigkeit in der Sekunde 7 Zapfen getroffen werden, und fährt fort: „ . . . es bleibt dann eine Beziehung zwischen dem zur Zeit

¹ J. HOPPE, *Die Scheinbewegungen*. Würzburg 1879.

² A. GOLDSCHIEDER, Über d. Muskelsinn etc. *Zeitschr. f. klin. Med.* Bd. XV S. 117.

³ DVOŘAK, *Wien. Akad.-Ber.* Bd. LXI. II. Abt. S. 257.

⁴ H. AUBERT, Die Bewegungsempfindung. *Pflügers Arch.* Bd. XXXIX S. 347 ff. (1886).

wirkenden und dem $\frac{1}{7}$ Sekunde vorher dagewesenen Reizzustand bestehen, und der Ausdruck dieser Beziehung ist eine Empfindung sui generis, die Bewegungsempfindung.“¹ 2. Beim indirekten Sehen findet er, daß die Bewegungsempfindlichkeit nach der Peripherie zu immer mehr abnimmt, aber nicht so schnell, wie die Zahl der Zapfen, so daß auch er, wie EXNER, in den Seitenteilen der Netzhaut eine relativ höhere Bewegungsempfindlichkeit annimmt. 3. Bei Verdeckung aller ruhenden Objekte findet er die Bewegungsempfindung höchst unsicher und schließt daraus, daß zum Zustandekommen derselben ein Vergleich von Bewegtem und Unbewegtem erforderlich ist. Von FLEISCHL auf die Mitwirkung der Muskelempfindungen aufmerksam gemacht, prüft er dessen Resultate in einer neuen Versuchsserie² nach und findet sie bestätigt. 4. Daß die Muskelempfindung allein zur Erzeugung einer sicheren Bewegungswahrnehmung nicht befähigt sei, weist er endlich nach durch Versuche, bei welchen außer dem bewegten Gegenstande (einem glühenden Draht im Dunkelzimmer) überhaupt nichts sichtbar war.

Die geheimnisvolle „Beziehung zwischen zwei benachbarten Netzhautstellen“, von der DVORAK und AUBERT gesprochen hatten, wurde in ihrem Wesen aufgeklärt durch OTTO FISCHER³ und als Nachbildwirkung erwiesen. Durch zahlreiche Experimente zeigte er, daß beim Stroboskop der Bewegungseindruck dann eintrete, wenn eine neue Phasenfigur ihr Bild auf die Netzhaut wirft, ehe noch das Nachbild der vorhergehenden ganz geschwunden ist. „Der obige Satz wird allgemein für die Entstehung der Bewegungsvorstellung bei ruhendem Auge gelten.“ Um STRICKERS Behauptung zu widerlegen, daß das stroboskopische Sehen auf Augenbewegungen beruhe, konstruierte er Phasenzeichnungen, welche im Stroboskop den Eindruck von 24 centrifugal oder centripetal sich bewegenden Punkten erzeugten. — Jene Ansicht, daß das neben dem frischen Eindruck noch bestehende Nachbild einer früheren

¹ A. a. O., S. 358.

² H. AUBERT, Die Bewegungsempfindung. (Zweiter Artikel.) *Pflügers Arch.* Bd. XL. S. 459. (1887.)

³ O. FISCHER, Psychologische Analyse der stroboskopischen Erscheinungen. *Philos. Studien.* III. S. 128. (1886.)

Phase sehr viel zur Charakterisierung des Bewegungseindruck beitrage, teilt auch WUNDT.¹

III. Eigene Beobachtungen und Versuche.

§ 28. Abgesehen von einer Zahl gelegentlicher Beobachtungen, die ich in den „Thatsachen“ erwähnte, abgesehen ferner davon, daß ich die meisten der anderwärts berichteten Phänomene durch eigene Anschauung nachzuprüfen suchte, habe ich über zwei Probleme umfangreichere und systematischere Beobachtungen, zum Teil mit Hülfe des Experiments, angestellt. Das erste betrifft die Sehschärfe für Bewegungen im Vergleich zur Sehschärfe für ruhende Objekte in den verschiedenen Gebieten der Netzhaut, das zweite die Nachbewegungen bei geschlossenem Auge. Die hierauf bezüglichen Experimente sind in dem physiologisch-optischen Institute des Herrn Professor Dr. ARTHUR KÖNIG in Berlin angestellt, die ersteren unter Beihülfe des Herrn Dr. G. TSCHELPANOW, Privatdocenten der Psychologie zu Kiew; beiden Herren spreche ich für ihre freundliche Unterstützung meinen aufrichtigsten Dank aus.

1. Versuche über Sehschärfe für Ruhe und Bewegung.

§ 29. EXNER² hatte bei seinen Versuchen über peripheres Bewegungssehen zwei nahe aneinander befindliche Papierstückchen in eine seitliche Gegend des Gesichtsfeldes gebracht, wo sie nicht als zwei unterschieden wurden. Es zeigte sich, daß dort Bewegungen innerhalb kleinerer Grenzen, als der (nicht erkennbare) trennende Raum betrug, noch deutlich bemerkt wurden. EXNER selbst stellte diese höchst dankenswerten Versuche als nur gelegentliche hin, die nicht den Anspruch auf numerische Exaktheit machen. Auch fehlt eine Untersuchung der gleichen Vorgänge im direkten Sehen. Beides suchte ich nun nachzuholen.

An einem Ende eines langen, völlig dunklen Korridors mit geschwärzten Wänden stellte ich eine große, von hinten durch zwei Argandflammen gleichmäßig und ziemlich intensiv beleuchtete Milchglastafel auf. Wurde dann über diese senkrecht ein schwarzer Papierstreifen gespannt, so sah man zwei benach-

¹ W. WUNDT, *Physiol. Psychologie*. IV. Aufl. II. Bd. S. 159 ff.

² S. EXNER, *Über das Sehen von Bewegungen* etc. S. 162.

barte helle ruhende Felder, und durch Variierung der Breite des Streifens konnte die Entfernung der beiden Felder gefunden werden, bei welcher deren Trennung nicht mehr sichtbar war. Um ferner die Empfindlichkeit für Bewegungen zu untersuchen, brachte ich vor der Platte einen Pappschild an, der in der Mitte einen quadratischen Ausschnitt von 10 cm Seitenlänge hatte; dieser Ausschnitt diente als leuchtendes Objekt. Der Schild ließ sich seitlich leicht und geräuschlos längs eines Millimetermaßstabes hin und her bewegen; diese Bewegung war durch Anschläge in genau meßbaren Elongationen zu vollführen. Die Entfernung der Anschläge und damit die Größe der Elongationen war variierbar.

Der Beobachter befand sich 6 m 60 cm von dem leuchtenden Objekte entfernt. Da in direktem Sehen die schmalsten Streifen bei ruhendem und die kleinsten ausführbaren Elongationen bei bewegtem Objekte noch sichtbar waren, so mußte ich das gesamte Bild verkleinern durch die Objektivlinse eines Mikroskops, welche die Objekte auf $\frac{1}{400}$ ihrer Größe reduzierte, dieselben aber dem Auge näher rückte. Der Gesichtswinkel wurde dadurch auf $\frac{1}{20}$ seiner ursprünglichen Größe verringert. Die Linse befand sich am Ende einer 32 cm langen, innen völlig geschwärzten Röhre, wodurch das Bild genau in den Fernpunkt meines linken (kurzsichtigen) Auges, mit dem ich stets beobachtete, gebracht und jede Accomodationsanstrengung unnötig gemacht wurde. Bei indirektem Sehen war eine Verkleinerung nicht vonnöten; nur brachte ich hier vor das linke Auge eine Konvexlinse von 3 Dioptrien, wieder um es völlig zu korrigieren. Die Versuche bei ruhendem Objekte wurden mit Streifen von $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{2}$, 2 cm Breite vollzogen; in gleichen Strecken bewegten sich die Elongationen des Pappschildes bei Versuchen mit bewegtem Objekte. — Als Fixationsmarke diente bei indirektem Sehen eine Stearinkerze, deren Licht durch ein davorgestelltes weißes Papierstück gedämpft war. Der Gesichtswinkel zwischen dem beobachteten Objekte und dem Fixationspunkte betrug 20° .

Die Versuche bei ruhendem Objekte wurden nun so angestellt, daß, während der Beobachter die Augen geschlossen hielt, der Experimentator einen beliebigen Streifen über die Milchglasscheibe spannte, daß dann auf ein bestimmtes Signal der Beobachter die Augen öffnete und urteilen mußte, ob er

die Trennung der beiden hellen Felder wahrnehme oder nicht. Die Streifen wurden in unregelmäßiger, dem Beobachter unbekannter Reihenfolge verwandt. An jedem Versuchstage wurden 60 Versuche gemacht, je 10 bei jeder Streifenbreite, ferner 10 ohne Benutzung eines Streifens. Im ganzen beliefen sich die über ruhende Objekte abgegebenen Urteile bei direktem Sehen auf 6×20 , bei indirektem auf 6×10 .

Bei den Versuchen mit bewegtem Objekte waren noch einige Einzelheiten zu beobachten:

1. Die Anwesenheit von ruhenden Objekten im Gesichtsfelde. Die ersten Vorversuche bei direktem Sehen hatte ich so eingerichtet, daß außer dem hellen (in der Verkleinerung fast punktförmig erscheinenden) Objekt, über dessen Bewegung ich urteilen sollte, absolut nichts zu sehen war. Doch da zeigte sich eine derartige Unsicherheit im Urteilen, daß diese Versuche bald aufgegeben werden mußten. Es wurde nun in einiger Entfernung rechts oben vom beobachteten Objekte eine Gasflamme angesteckt, die durch das Mikroskopobjektiv ebenfalls punktförmig erschien. Die Anwesenheit dieses festen Punktes machte sofort eine genauere Beobachtung möglich. (S. Tabelle I, Rubrik c.) Noch vergrößert wurde die Genauigkeit, als eine zweite feste Flamme senkrecht unter der Milchglasplatte angebracht wurde. Bei indirektem Sehen war ja schon dadurch, daß ein Fixationspunkt gegeben sein mußte, zugleich für das Vorhandensein eines festen Gegenstandes im Gesichtsfelde gesorgt.

2. Der Rhythmus der Bewegung durfte nicht immer derselbe sein, da eine vorherige Kenntnis des Taktes die Wahrnehmung einer Bewegung beträchtlich beeinflusst und die Größe dieses Einflusses schwer feststellbar ist. Daher fertigte ich drei geräuschlose Pendel an, die in der Minute bezüglich 144, 84, 72 Schwingungen machten und in deren Rhythmus abwechselnd die Bewegung erfolgte.

Der Experimentator hatte nun während eines jeden Versuches den Pappschild in regelmäßigem Takte so lange hin und her zu bewegen, bis seitens des Beobachters ein Urteil abgegeben war. Die einzelnen Versuche unterschieden sich sowohl an Bewegungsweiten, wie auch an Rhythmen, beide Momente wurden in beliebiger Reihenfolge variiert. An jedem Versuchstage wurden bei jeder Elongation 9 Beobachtungen gemacht, je drei in einem der drei Rhythmen. Natürlich war

auch Elongation 0 vertreten. Im ganzen wurden bei direktem Sehen für jede Bewegungsweite 18 Versuche gemacht, wenn ein festes Objekt im Gesichtsfeld war, ebensoviel, wenn zwei vorhanden waren. Bei indirektem Sehen genügten je 9 Versuche.

Die Antworten, welche gegeben wurden und denen ich Zahlen substituierte, lauteten: Nein (0), nein fraglich ($1\frac{1}{2}$), unsicher (3), ja fraglich (4), sehr schwach ($4\frac{1}{2}$), schwach (5), ja (6).

Ich setzte nun für die einzelnen Antworten die entsprechenden numerischen Werte ein und bildete für jede Breite des Streifens, bzw. der Elongation, das Mittel. Diese Mittelzahlen, die in den folgenden Tabellen enthalten sind, haben daher den Sinn, der ihnen durch obige Skala angewiesen wird.

Tabelle I.

Direktes Sehen.

a	b	c		d
Breite d. Trennungstreifens, bezw. d. Elongation in Centimetern. Durch Mikroskop- objektiv gesehen.	Ruhendes Objekt, Mittel aus je zwanzig Beobachtungen.	Bewegtes Objekt, Mittel aus je achtzehn Beobachtungen. (1 festes Objekt im Gesichtsfelde.)		(2 feste Objekte im Gesichtsfelde.)
0	3,15	3,65		2,25
$\frac{1}{2}$	3,45	3,35		3,55
$\frac{3}{4}$	3,85	4,1		3,0
1	3,9	2,45		3,1
$1\frac{1}{2}$	4,9	3,4		4,35
2	4,8	4,35		5,0

§ 30. Aus diesen Tabellen scheinen sich nun mehrere Ergebnisse ableiten zu lassen.

1. Was zunächst das direkte Sehen angeht, so ist die Breite, die ich noch gerade als Trennungsgebiet zweier ruhenden Objekte wahrnahm, und diejenige, innerhalb deren ich eine Bewegung wahrnahm, ziemlich gleich (insbesondere, wenn wir Rubrik b und d der Tabelle I in Betracht ziehen). Diese Breite mußte, um mit einiger Sicherheit wahrgenommen zu werden, größer als 1 cm sein. Betrug sie 1 cm oder weniger, so liegen die Resultate nahe um 3, welche Zahl die Bedeutung

„unsicher“ hat. Nehmen wir 1 cm als die Grenze an, so beträgt der dazu gehörige Gesichtswinkel $15''$.¹

Tabelle II.
Indirektes Sehen.

a	b	c
Breite d. Trennungstreifens, bezw. d. Elongation in Centimetern. Ohne Verkleinerung gesehen.	Ruhendes Objekt, Mittel aus je zehn Beobachtungen.	Bewegtes Objekt, Mittel aus je neun Beobachtungen.
0	0	0
$\frac{1}{2}$	0,9	6
$\frac{3}{4}$	0,6	6
1	4,6	6
$1\frac{1}{2}$	5,8	6
2	6	6

2. Ganz anders im indirekten Sehen. Hier liegt die Grenze bei ruhendem Objekte zwischen $\frac{3}{4}$ und 1 cm, bei bewegtem zwischen 0 und $\frac{1}{2}$ cm. Es ist also die Empfindlichkeit bei der hier benutzten ziemlich starken Intensität für Bewegungen beträchtlich größer, als für Ruhe. Dieses Ergebnis würde eine Bestätigung der EXNERSCHEN Behauptung bedeuten. Es zeigt ferner der Vergleich mit dem direkten Sehen, daß (immer für die hier angewandte Helligkeitsstärke) die Netzhautperipherie in der hervorragenden Empfindlichkeit für Bewegungen im Verhältnis zur Empfindlichkeit für

¹ Dieser Winkel erscheint auffallend klein, wenn man ihn mit den von HELMHOLTZ, *Physiol. Optik.* I. Aufl. S. 216, II. Aufl. S. 256, und anderen gefundenen kleinsten Gesichtswinkeln, die etwa $60''$ betragen, vergleicht. Die Differenz ist aber erklärlich, wenn man bedenkt, daß HELMHOLTZ denjenigen Gesichtswinkel suchte, bei welchem er die Stäbe eines Gitters jedesmal gerade unterscheiden konnte, während der obige Wert den Winkel bezeichnet, bei dem sich die negativen und positiven Fälle die Wage halten. Der Winkel, bei welchem immer der Trennungstreifen wahrgenommen wurde (der also als Mittelwert der Antworten die Zahl 6 ergäbe) ist mehr als doppelt so groß. Hierzu kommt, daß HELMHOLTZ den Winkel nicht (wie ich) lediglich nach dem Trennungsraume, sondern von der Mitte des einen Gitterstabes zu der des anderen berechnete.

Ruhe ein charakteristisches Merkmal gegenüber der Netzhautgrube besitzt.

Um die Grenze der Bewegungssehschärfe im indirekten Sehen, die zwischen 0 und $\frac{1}{2}$ cm liegt, genauer zu bestimmen, liefs ich noch eine Anzahl von Versuchen bei 2, 3 und 4 mm machen. Es zeigte sich, dafs bei 3 und 4 mm die Bewegung noch immer gesehen wurde, während bei 2 mm das Mittel der Antworten 2,6 ergab. Hier schienen wir also an der Grenze zu stehen. Es beträgt somit für mein Auge bei der betreffenden Intensität die eben merkbare Elongation einer Bewegung nur etwa den vierten Teil der noch gerade merkbaren Trennungsbreite bei Ruhe.¹

3. Die obigen Tabellen lassen noch ferner erkennen, dafs die Gegend der Unsicherheit bei direktem Sehen ein erstaunlich grosses Gebiet einnahm, während dieselbe beim indirekten Sehen recht eng begrenzt war. Dort war bei ruhendem Objekte im Gebiete von 0 bis 1 cm der Eindruck „unsicher“, hier wurde der Trennungstreifen bei $\frac{3}{4}$ cm mit Sicherheit noch nicht bemerkt, bei 1 cm schon mit ziemlicher Bestimmtheit erkannt. Dieser Unterschied beruht wohl hauptsächlich auf der Gröfse der Bilder. Bei direktem Sehen war dasselbe infolge der Verkleinerung fast punktförmig, bei indirektem dagegen von beträchtlicher Ausdehnung. Eigentümlich ist die Thatsache, dafs bei jenen Experimenten, wo sehr kleine Objekte vorgeführt wurden, also im direkten Sehen, selbst bei Breite 0 so häufig der Eindruck des (nicht vorhandenen) Trennungstreifens, bezw. der (nicht stattfindenden) Bewegung sich einstellte; ein interessanter Beweis für die Leichtigkeit, mit der für erwartete Eindrücke Hallucinationen eintreten können.

¹ Nehmen wir 9 mm für Ruhe, 2,2 mm für Bewegungen als Grenze an, und ziehen wir den bei direktem Sehen berechneten Wert in Betracht, so ergeben sich als diejenigen Gesichtswinkel, bei denen die Sehschärfe für Ruhe und Bewegung ihre Grenze erreicht:

	Direktes Sehen	Indirektes Sehen
Ruhe	15"	270"
Bewegung.....	15"	75"

Diese Zahlen sind weniger ihren absoluten, als ihren relativen Werten nach von Bedeutung.

4. Endlich ist noch die Vergleichung von Rubrik c und d der ersten Tabelle lehrreich. Das Urteil war bedeutend sicherer, wenn sich zwei, als wenn sich nur ein festes Objekt in der Nähe des bewegten im Gesichtsfelde befand. Bei Elongation 0 tritt dann viel seltener die Täuschung, bei Elongation $1\frac{1}{2}$ schon viel bestimmter der Eindruck der Bewegung auf. Dies ist wohl so zu erklären, daß bei einem festen Objekte Augenbewegungen auftreten, die unbemerkt bleiben können, falls nämlich sich das Auge um das Bild des festen Punktes als Centrum dreht. Dies ist wohl denkbar, wenn der ruhende Punkt fixiert und der bewegte verfolgt wird. Sind dagegen zwei Objekte im Gesichtsfelde, so bringt jede Augenbewegung sofort die Verschiebung mindestens eines der festen Punkte auf der Netzhaut hervor und wird sofort bemerkt. Dasselbe also, was bei jenen zuerst erwähnten Vorversuchen (wo gar kein fester Punkt sichtbar war) auftrat, zeigt sich auch hier, nur in geringerem Maße: Augenbewegungen allein tragen nicht bei zur Genauigkeit des Bewegungseindruckes, sondern sind im Gegenteil, namentlich wenn sie unkontrollierbar sind, störend.

5. Was endlich die verschiedenen Rhythmen der Elongation angeht, so scheint merkwürdigerweise, alles Übrige gleichgesetzt, die langsamste Bewegung am deutlichsten wahrgenommen worden zu sein. Zerlegen wir nämlich Rubrik c und d der Tabelle I in die drei verschiedenen Elongationsrhythmen, so ergibt sich

Tabelle III.

Breite der Elongation in Centimetern.	c			d		
	1 festes Objekt im Gesichtsfelde			2 feste Objekte im Gesichtsfelde		
	Pendel α 144 Schwg. pro 1 Min.	Pendel β 84 Schwg. pro 1 Min.	Pendel γ 72 Schwg. pro 1 Min.	Pendel α 144 Schwg. pro 1 Min.	Pendel β 84 Schwg. pro 1 Min.	Pendel γ 72 Schwg. pro 1 Min.
$\frac{1}{2}$	4,4	2,7	2,9	3,7	3,8	3,1
$\frac{3}{4}$	3,7	3,8	4,5	2,8	3,4	2,7
1	3,2	1,3	3,1	1,9	4,5	2,9
$1\frac{1}{2}$	2,3	2,7	4,3	3,1	5,0	5,2
2	4,2	4,1	4,7	4,2	5,5	5,8

Jede Zahl ist das Mittel aus je sechs Antworten.

Während also im Gebiete der Unsicherheit (bis 1 cm einschliesslich) keine Gesetzmäßigkeit zu erkennen ist, zeigen die

beiden letzten Horizontalreihen, daß, je langsamer der Rhythmus, um so größer die Maßzahl der Sicherheit ist. Namentlich tritt dies bei den überhaupt zuverlässigeren Versuchen der Rubrik d hervor, bei denen zwei ruhende Objekte im Gesichtsfelde waren.

§ 31. Das Hauptergebnis obiger Versuche war die Bestätigung der EXNERSchen Beobachtung gewesen, daß (bei einer gewissen Intensität) in der Netzhautperipherie die Sehschärfe für Bewegungen größer sei, als für ruhende Objekte. Diese Thatsache erschien EXNER so eigenartig, daß er sie nur durch die Annahme einer spezifischen Bewegungsempfindung erklären zu können vermeinte. Mir scheint indessen zur Erklärung die Annahme eines ganz neuen Bewußtseinszustandes entbehrlich, vielmehr genügt nach meiner Ansicht die Herbeiziehung einer ganz bekannten Thatsache, nämlich der Irradiation, um jener Erscheinung gerecht zu werden. Wie ich später in der Theorie der Bewegungswahrnehmung ausführlicher erörtern werde (§ 42), muß Irradiation die Sehschärfe für den Zwischenraum zwischen zwei hellen ruhenden Objekten herabdrücken, während sie auf die Sehschärfe für Bewegungen keinen Einfluß hat. Für die Richtigkeit dieser Annahme spricht u. a. auch der Umstand, daß bei direktem Sehen und vollkommen akkommodiertem Auge (wo die Irradiation also so gut wie 0 ist) auch die Sehschärfe für Ruhe und Bewegung gleich war. Ferner muß, wenn jene Erklärung richtig ist, in der Netzhautperipherie mit verringerter Irradiation auch der Unterschied der Sehschärfe für Ruhe und Bewegung abnehmen.

Um diese Frage zu untersuchen, stellte ich einige Wochen nach jenen oben geschilderten Experimenten noch zwei Versuchsreihen an, die sich natürlich nur auf indirektes Sehen bezogen. Die Versuchsanordnung war der obigen durchaus entsprechend, nur begnügte ich mich diesmal schon mit Mitteln aus je fünf Werten. Die Helligkeit der ersten Versuchsreihe war die der hell aufgeschraubten Argandbrenner, bei der zweiten waren die beiden Lampen sehr niedrig geschraubt, die Flamme hatte vielleicht eine Höhe von 1 cm. Die Resultate sind folgende:

Tabelle IV.

Breite d. Trennungstreifens, bezw. der Elongation in Centimetern	Starke Helligkeit, Mittel aus je 5 Werten		Schwache Helligkeit, Mittel aus je 5 Werten	
	Ruhe	Bewegung	Ruhe	Bewegung
0	0	<u>0</u>	0	0
$\frac{1}{2}$	1,5	5,2	<u>1,5</u>	0,9
$\frac{3}{4}$	2,2	5,4	4,2	<u>1,2</u>
1	<u>2,8</u>	5,8	5,8	5,2
$1\frac{1}{2}$	6	5,6	6	5,8
2	6	6	6	5,8

Diese Zahlen erweisen, daß jene grössere Sehschärfe der Netzhautperipherie für Bewegungen nur bei starken Intensitäten gilt, daß aber bei abnehmender Helligkeit der Unterschied der Sehschärfen für Ruhe und Bewegung nicht nur abnimmt, sondern sogar in das Gegenteil umschlagen kann: bei sehr geringer Lichtstärke liegt die Grenze der Wahrnehmbarkeit (in der Tabelle durch Doppelstriche gekennzeichnet) für Bewegungen sogar ein wenig tiefer als für Ruhe. Jedenfalls geht daraus so viel hervor, daß der Unterschied der Sehschärfen für Ruhe und Bewegung eine Funktion der absoluten Helligkeit ist. Eine Funktion der absoluten Helligkeit ist aber auch die Breite der Irradiation.

2. Versuche über Nachbewegungen bei geschlossenem Auge.

§ 32. Alle jene Erscheinungen, die sich nach der Wahrnehmung einer Bewegung einstellen, sind bisher in der Weise beobachtet worden, daß man nach dem Aufhören der Bewegung das Auge auf irgend einen ruhenden Gegenstand richtete. Hier traten dann stets entgegengesetzt gerichtete Nachbewegungen auf. Bei dieser Versuchsanordnung besteht aber der Nachteil, daß man nicht weiß, wieviel von der Täuschung dem neuen optischen Eindrucke, wieviel der Nachwirkung der Bewegung zuzuschreiben ist. Um letztere rein zu erzielen, ist es nötig, sofort, nachdem man die Bewegung selbst beobachtet hat, jeden ferneren Gesichtseindruck abzuschließen.

In unvollkommener Weise geschieht dies durch Schliessen der Augen, und ich habe zunächst eine große Reihe von Beobachtungen angestellt, bei denen ich mich dieses einfachen Hilfsmittels bediente. Dies geschah bei Eisenbahnfahrten (ähnlich wie es ENGELMANN gethan), die ich fast täglich zu machen hatte.

1. Ich fixierte einen Punkt des Wagenfensters in der Weise, daß hinter dem Fixationspunkte fortwährend ein Gitter, welches den Bahndamm entlang lief, oder die Querschwellen des Nebengeleises schnell am Auge vorbeiflogen und schloß nach mehreren (etwa 5—10) Sekunden die Augen. Im gleichen Moment sah ich ganz deutlich das Bild des Gitters, bezw. der Schwellen sich nach derselben Richtung verschieben, nach der sie sich bei offenem Auge bewegt hatten. Dieser Eindruck währte nur kurze Zeit, bald folgte dann ein unbestimmtes Flimmern, in welchem manchmal sogar eine rückläufige Bewegung sich bemerkbar machte.

2. Ich fixierte einen Punkt des Fensters in der Weise, daß dahinter nur der Himmel sichtbar war. Nur hin und wieder flogen Schornsteine, Baumstämme, Signalstangen am Auge vorüber. Sowie ein solcher Gegenstand das Gesichtsfeld passiert hatte, schloß ich die Augen und sah dann gleichsam die Wiederholung des Schauspiels; ein Schatten schien mein Auge genau in derselben Weise noch einmal zu durchqueren, wie es soeben der Gegenstand gethan hatte. In diesen und ähnlichen Beobachtungen gewann ich durch zahlreiche Wiederholungen große Übung, so daß ich in Bezug auf deren Richtigkeit meiner völlig sicher bin.

§ 33. Exaktere Versuche hierüber stellte ich wiederum im Laboratorium des Herrn Professor KÖNIG an. Ich verfertigte aus Linienpapier (Schreibunterlagen) einen in sich geschlossenen Streifen von 10 cm Höhe und 130 cm Länge, so daß die schwarzen Linien bei horizontaler Stellung des Gesamtstreifens senkrecht standen. Die schwarzen Linien waren 1 mm breit die weißen Zwischenräume 9 mm. Diesen Streifen legte ich um die Trommel zweier Kymographien, deren eine durch Uhrwerk getrieben wurde, während die andere durch den straff angespannten Streifen nur mitgeschleift wurde. Die ganze Anordnung fand im Dunkelzimmer Aufstellung. Der Streifen wurde nun von vorn durch zwei Gasflammen hell erleuchtet,

in der Nähe der Augen wurde ein Pappschild mit viereckigem Ausschnitt angebracht, durch den man nichts sah, als ein vollkommen ebenes Stück des linierten Streifens. Wurden die Kymographien in Bewegung versetzt, so zog ununterbrochen ein System senkrechter Linien am Auge vorüber.

Diese Linien beobachtete ich nun teils bei fixiertem, teils bei nicht fixiertem Auge. Zwischen je zwei Beobachtungen wurde das Auge stets so lange ausgeruht, bis jede Spur eines Nachbildes verschwunden war.

a) Beobachtungen mit fixiertem Auge. Ich brachte unmittelbar vor dem linierten endlosen Streifen ein senkrechtes, 1 cm breites, schwarzes Papierstück an, hinter dem während der Beobachtung die einzelnen Linien auf der einen Seite verschwanden, auf der anderen wieder hervorkamen. Die Mitte dieses schwarzen Papiers fixierte ich. In einer Reihe anderer Versuche bediente ich mich zur Fixation eines linierten Streifens, der dem bewegten ganz gleich war und den oberen Teil desselben bedeckte, so daß in gewissen Momenten der Bewegung die Linien des einen geradlinige Fortsetzungen der des anderen bildeten. Ich fixierte dann eine Linie des ruhenden Streifens in unmittelbarer Nähe der Grenzlinie beider Streifen. Meine Beobachtungen zerfallen in solche, bei denen die Bewegung des Streifens nur kurze Zeit, und in solche, bei denen sie längere Zeit aufs Auge wirkte. Im ersteren Falle bedeckte ich die offenen Augen mit einem schwarzen Tuch, das ich nur für einen Moment lüftete. Das Auge war dann etwa eine Viertelsekunde dem Bewegungsreize ausgesetzt, vorher und nachher war das Gesichtsfeld absolut dunkel. Es zeigte sich dann, daß sofort nach Wiederverdeckung der Augen das Fixationszeichen ruhend erschien, unter oder neben ihm erblickte ich die verwaschenen Linien in einer Bewegung begriffen, die der objektiven Bewegung gleichgerichtet war. Der Eindruck war sehr intensiv, währte aber nur außerordentlich kurze Zeit. — In anderen Fällen heftete ich das Auge wohl 8—12 Sekunden auf die Fixationsmarke und verdeckte es dann. Auch hier war die gleiche Nachwirkung vorhanden, diesmal aber nicht mehr so scharf; oft schien dann nach kurzer Dauer der gleichgerichteten Nachbewegung eine entgegengesetzte zu folgen. Namentlich war dies der Fall, wenn der eine linierte Streifen als Fixationsobjekt gedient hatte. Ich sah dann im Nachbilde das letztere

Liniensystem scharf, das andere verwaschen; die Verschiebung beider gegeneinander im Nachbild schien sich manchmal umzukehren; im ersten Augenblick war sie aber stets der objektiven Verschiebung gleichgerichtet. Auch jene entgegengesetzte Bewegung währte nicht lange, niemals bis in die Entstehung des negativen Nachbildes hinein; in letzterem waren stets nur die ruhenden Objekte (das Fenster und das Fixationszeichen) sichtbar.

b) Beobachtungen bei nicht fixiertem Auge. Nach der Entfernung der Fixationsobjekte hatte das Auge keinen ruhenden Punkt im Gesichtsfelde; es schweifte hin und her und verfolgte meistens die sich bewegenden senkrechten Linien. War das Auge längere Zeit dem Reize ausgesetzt und wurde es dann verdeckt, so waren die Nachbewegungen nie so deutlich wahrnehmbar, wie sub a; nur hin und wieder traten sie auf und waren dann gleichgerichtet. Von den bei fixiertem Auge wahrgenommenen Nachbewegungen unterschieden sie sich grundsätzlich dadurch, daß die Linien nicht verwaschen, sondern scharf gesehen wurden und daß die Bewegung viel langsamer erschien. Bei sehr kurzer Einwirkung des Reizes war der Eindruck ganz derselbe wie unter a, da ja bei der verschwindend kleinen Dauer das Auge keine Zeit hatte zu schweifen und sich daher vom fixierten Auge nicht unterschied.

§ 34. Auch die bekannte Erscheinung des OPPELSchen Uferphänomens habe ich beobachtet. Sistierte ich die Bewegung des Kymographions und behielt das Auge geöffnet, so schienen die Linien wieder umzukehren, und zwar war diese Scheinbewegung ebenfalls stärker, wenn ein Fixationsobjekt im Gesichtsfelde war. Letzteres nahm an der rückläufigen Bewegung nicht teil.

Auf eine Erklärung aller dieser Nachbewegungen kann ich erst später im Zusammenhang mit der Gesamttheorie der Bewegungswahrnehmung eingehen. (§§ 57—59.)¹

¹ Nicht unerwähnt möchte ich lassen, daß ich auch die von FLEISCHL, a. a. O., S. 8 ff., geschilderte Täuschung der scheinbaren Wellung bewegter Gitter an meinem Apparate sehr gut beobachten konnte. Sobald sich die schwarzen Linien an dem anderweitig fixierten Auge vorbeibewegten (aber auch nur dann), erschienen sie wellig geformt, und zwar zeigte jede der (10 cm langen) Linien etwa drei bis vier Ausbuchtungen.

IV. Theorie der Wahrnehmung von Bewegungen durch das Auge.

§ 35. Das sinnliche Material, vermittelt dessen wir durch das Auge Wahrnehmungen machen können, besteht in Gesichtsempfindungen und Muskelempfindungen. Beide sind an der Bewegungswahrnehmung beteiligt.

Wie alle Vorgänge der Außenwelt Deutungen auf Grund sinnlicher Eindrücke sind, so auch die Annahme der Bewegung; und zwar haben wir die beiden Möglichkeiten zu unterscheiden, ob ein einzelner sinnlicher Eindruck als solcher die Deutung als Bewegung erhalten kann, oder ob hierfür eine Reihe von Eindrücken nötig ist. Beide Fälle kommen vor; wir betrachten zunächst den letzteren.

1. Die Bewegungswahrnehmung als Erzeugnis mehrerer Empfindungsmomente.

§ 36. Die Vorstellung einer Bewegung kann dann entstehen, wenn wir nacheinander mehrere in sich konstante Phasen der Bewegung wahrnehmen und diese untereinander vergleichen. In jedem einzelnen Moment haben wir den Eindruck der Ruhe. Hat die Bewegung ein Stadium erreicht, welches sich von einem vorhergehenden in seiner Raumlage eben merklich unterscheidet (ein solches Stadium bezeichnen wir als eine „neue Phase“), so ist letzteres als Empfindung schon verklungen und besteht nur noch in der Erinnerung. Diese zeigt dann dasselbe Objekt in anderer Lage; und die Überzeugung von der Identität des Gegenstandes, vereint mit dem Bewußtsein vom Anderssein des Ortes führt zu dem Schlufs, dafs das Objekt seinen Ort verändert, d. h. sich bewegt habe. Dieser Schlufs kann entweder mit Bewußtsein gemacht oder unbewußt vollzogen werden.

Das so umschriebene Prinzip, nach welchem eine Deutung auf Bewegung erfolgen kann, bezeichne ich als das *Prinzip der Phasenvergleichung*; es findet insbesondere bei geringen Geschwindigkeiten Anwendung.

Das Eigentümliche war, dafs jede Linie sich gleichzeitig nach beiden Seiten ausbuchtete, so dafs ich sie an der betreffenden Stelle doppelt sah, und zwar auch bei monokularer Beobachtung. Die der Bewegungsrichtung abgekehrten Wellen traten stärker hervor.

Das Bewußtsein, daß die beiden Örter, an welchen sich das Objekt in verschiedenen Augenblicken befindet, nicht identisch sind, kann uns auf zwei Wegen vermittelt werden: es wird entweder der Gegenstand sich an zwei verschiedenen Stellen der Netzhaut abbilden, das wäre die optische Phasenvergleichung; oder es wird (wenn das Bild auf dieselbe Netzhautstelle fällt) zwei verschiedene Lagen des Augapfels herbeiführen, über die wir uns vermittelt der sogenannten Lageempfindungen der Augenmuskeln klar werden: das wäre die muskuläre Phasenvergleichung. Nach GOLDSCHIEDER¹ ist das letztere Prinzip überhaupt das einzige, durch das uns Augenbewegungen zu Vorstellungen äußerer Bewegungsvorgänge hinleiten können.

Auf beide Arten der Phasenwahrnehmung, insbesondere auf die muskuläre, kommen wir später noch einmal zurück. (§§ 49.3, 52.)

2. Die Bewegungswahrnehmung als Erzeugnis eines Empfindungsmomentes.

§ 37. Die Wahrnehmung der Bewegung kann sich nun aber auch auf einem einzelnen sinnlichen Eindruck aufbauen: ein einziger Empfindungsmoment wird infolge charakteristischer Eigentümlichkeiten als Wahrzeichen einer äußerer Bewegung gedeutet. Daß dies möglich sei, daß eine Sinneswahrnehmung an sich, ohne mit anderen verglichen zu werden, schon den Bewegungscharakter besitzen kann, das beweisen die in den §§ 4 und 9 genannten Tatsachen, das beweisen auch fast alle Bewegungstäuschungen.

Dennoch halte ich es für falsch, hier von einer Bewegungsempfindung zu sprechen. Das Wort ist einerseits zweideutig (MACH, GOLDSCHIEDER, DELABARRE etc. bezeichnen ganz andere Empfindungen, nämlich die durch Bewegungen des eigenen Körpers erzeugten, mit jenem Namen; man müßte, um diesem Mangel abzuhelpen, dann Eigenbewegungsempfindungen und Außenbewegungsempfindungen unterscheiden); andererseits kann das Wort, und das ist das bei weitem wichtigere, zu Hypostasierungen führen, die ich als berechtigt nicht anerkennen kann. Verstände man unter „Bewegungsempfindung“

¹ GOLDSCHIEDER, *Zeitschr. f. klinische Medicin* Bd. XV. S. 117.

eine Empfindung oder einen Komplex von Empfindungen bekannter Art, der vermöge gewisser Eigentümlichkeiten unmittelbar auf eine Bewegung gedeutet wird, so könnte man dies gelten lassen; der Name hätte hier dann dieselbe Bedeutung wie in den Ausdrücken „Tiefenempfindung“, „Glätteempfindung“, denen man hier und da begegnet. Versteht man aber unter „Bewegungsempfindung“ etwas, das sich von allen anderen Empfindungen (auch desselben Sinnesgebietes) spezifisch unterscheidet, das völlig elementar, *sui generis*, unanalysierbar ist, stellt man sie also etwa auf eine Stufe mit der Farben oder Tonempfindung, so bewegt man sich, wie mir scheint, auf völlig falscher Fährte.

Wir können meiner Meinung nach nur sagen:

Gewisse Empfindungen oder Empfindungskomplexe des Auges (der Netzhaut und der Augenmuskeln) können unmittelbar gedeutet werden als Kennzeichen einer äußeren Bewegung. Diese Empfindungen bilden keine neue spezifische Sondergruppe; vielmehr findet jene Deutung dann statt, wenn in einem Empfindungskomplex die bekannten Eigenschaften der Empfindung: Intensitäten, Qualitäten und räumliche Verhältnisse, in einer gewissen, später zu erörternden Weise enthalten sind, bzw. zusammentreffen. Das Wesentliche ist, daß zur Deutung als Bewegung ein Empfindungsmoment genügt; d. h. es können die Empfindungen, die jene Deutung bewirken, völlig simultan sein, bzw. innerhalb der Zeitstrecke liegen, in welcher eine Empfindung ihren Empfindungscharakter behält. Wenn man in diesem Sinne von einer Bewegungsempfindung sprechen will, so kann man wenig dagegen haben; doch halte ich es aus obigen Gründen für besser, den Namen zu vermeiden.

Dieser sinnliche Bewegungseindruck ist nicht unanalysierbar; im Gegenteil besteht darin vor allem das Problem, zu untersuchen, welche Empfindungsthatigkeiten, und in welcher Art sie zusammenwirken müssen, um den Eindruck zu erzeugen. Dem Versuche einer solchen Analyse sind die folgenden Ausführungen gewidmet. Mir scheinen nun hierbei insbesondere drei Wirkungen in Betracht zu kommen, welche im Auge durch eine äußere Bewegung hervorgerufen werden müssen oder können:

- a) die veränderte Reizung,
- b) der Nachbildstreifen,
- c) die Augenbewegung.

Die Erörterung der beiden ersten Punkte bezieht sich, da die Augenbewegung im Punkte c eine besondere Besprechung erfährt, stets auf das ruhende Auge.

a) Die veränderte Reizung.

§ 38. Fast jede Bewegung eines sichtbaren Objektes hat zur Folge, daß gewisse Teile der Netzhaut, die bisher von den Strahlen desselben nicht getroffen wurden, jetzt getroffen werden, oder daß solche, die getroffen wurden, nun nicht mehr getroffen werden. Die bloße Thatsache nun, daß in irgend einem Retinagebiet ein Reizungszustand neu auftritt oder aufhört oder im allgemeinen sich verändert, kann unter Umständen auf eine Bewegung des reizerzeugenden Körpers gedeutet werden; ich bezeichne das hierbei wirksame Deutungsprinzip als das *Prinzip der veränderten Reizung*. Wenn die Veränderung einer Reizung mit einer gewissen Schnelligkeit vor sich geht (insbesondere wenn aus einer Nicht-Reizung eine Reizung von beträchtlicher Größe wird), so macht sich die Thatsache der Veränderung, der Akt des Überganges an und für sich sofort im Bewußtsein geltend. Dieses Bewußtseinsphänomen scheint höchst elementar zu sein, beruht nicht etwa lediglich auf einer reflexionsmäßigen Vergleichung des neuen Zustandes mit dem Erinnerungsbilde eines früheren, sondern kann durchaus momentan sein. Ich halte es sogar, wie ich an anderer Stelle¹ ausgeführt habe, nicht für unmöglich, daß eine spezifische „Übergangsempfindung“ existiert. Mag diese nun in der That bestehen oder nicht, jedenfalls erzeugt eine plötzliche Reizungsänderung eines bestimmten Netzhautgebietes eine besondere Art der sinnlichen Wahrnehmung, welche sich stets an objektive Ortsveränderungen anknüpft.

Dieser Empfindungszustand ist nun insofern sehr primitiv, als er völlig unabhängig ist von der Auffassung einer bestimmten Qualität, oder von Qualität überhaupt, und auch von räumlicher Auffassung. Er bedarf zu seinem Zustandekommen nicht eines Nebeneinanders, sondern lediglich der Auffassung des Intensitätswechsels an einer bestimmten Netzhautstelle oder auch an der optischen Nervenperipherie im allgemeinen. Daher

¹ STERN, Über die Wahrnehmung von Helligkeitsveränderungen. *Diese Zeitschr.* Bd. VII. S. 277 (1894).

ist jene „Übergangsempfindung“ sogar bei Augen denkbar, für die eine Raumanschauung des Gesichtsinnes nicht existiert, ebenso wie in dem der Raumanschauung ebenfalls entbehrenden Tonsinn das Anklingen eines neuen Tones einen ganz charakteristischen Eindruck macht. — Wir können also sagen: Selbst bei Individuen mit überaus unvollkommenen Augen vermögen Ortsbewegungen, die sich in der Außenwelt vollziehen, einen besonderen Empfindungsakt auszulösen, ja dieser Empfindungsakt wird eine um so wichtigere Rolle spielen, je primitiver das Auge des Individuums ist; denn er kann noch wirksam sein bei Augen, die weder Simultanunterschiede, noch ein räumliches Nebeneinander optisch aufzufassen vermögen. So ist es kein Widerspruch, wenn EXNER¹ behauptet, daß das Insektenauge wenig geeignet sei zur Auffassung einer Raumordnung, wohl aber zu der von Bewegungen. — Ferner: jener Empfindungsakt, der durch eine sich ändernde, bezw. neu eintretende Reizung erzeugt wird, hat bei niederen Individuen fast stets eine motorische Reaktion im Gefolge, die teils auf reflektorischem Wege, teils dadurch zu stande kommt, daß neue Eindrücke neue Wirkungen signalisieren, denen man entweder zuzustreben oder zu entgehen sucht. Somit erklärt sich die Beobachtung SCHNEIDERS,² daß viele Fische und Amphibien nur reagierten, wenn draussen eine Bewegung vollzogen wurde, dagegen nicht auf ruhende Eindrücke. — Diese Empfindung braucht darum noch nicht eine eigentliche Bewegungsempfindung zu sein (d. h. auf eine äußere Bewegung gedeutet zu werden), ja sie kann es sogar nicht sein, falls die Raumauffassung fehlt. Nur so viel steht fest, daß sie einerseits durch Ortsbewegungen erzeugt wird, und daß sie andererseits Wirkungen hat, wie bei entwickelten Individuen die Auffassung von Bewegungen, nämlich eigene Motionen des Zustrebens und der Flucht.

§ 39. Welches ist nun aber die Wirksamkeit des Prinzips der veränderten Reizung bei Individuen mit entwickelterem Auge, insbesondere beim Menschen? Hier gilt es freilich, daß das Auftreten eines neuen Eindruckes an und für sich schon fast immer auf eine äußere Bewegung gedeutet wird. Denn da uns das Sehfeld ein Teil des Raumes ist, so bedeutet eine anderswerdende, besonders eine neu auftretende Gesichts-

¹ EXNER, *Wiener Akademie-Berichte*, III. Abt. Bd. LXXII. S. 165 ff. (1875).

² SCHNEIDER, *Vierteljahrsschrift f. wiss. Philos.* II. Bd. S. 388.

empfindung: es hat etwas, das im nicht sichtbaren Teile des Raumes war, seinen Ort gewechselt, da es als etwas Neues plötzlich sich im sichtbaren Teile befindet. In manchen Fällen geht das Lokalisationsvermögen nicht weiter, namentlich dann, wenn das ganze Gesichtsfeld in allen Teilen gleichmäßig von dem Helligkeitswechsel in Mitleidenschaft gezogen wird. Dies ist z. B. der Fall, wenn wir durch die geschlossenen Lider blicken. Wir erkennen dann sehr wohl an der plötzlichen Veränderung des Helligkeitsgrades, daß sich etwas ins Gesichtsfeld hinein- oder aus ihm herausbewegt habe; allein die Richtung dieser Bewegung bleibt uns, da die Helligkeitsveränderung in allen Gegenden des Gesichtsfeldes gleichzeitig und gleich stark war, unbekannt.¹

Etwas anders verhält sich die Wirksamkeit des Prinzips bei offenen Augen. In der Mitte der Retina ist die alleinige Thatsache der veränderten Reizung weniger geeignet, einen Bewegungseindruck zu erzeugen. Denn wenn hier plötzlich eine neue Reizung, z. B. ein überspringender elektrischer Funke, auftritt, so ist uns die Annahme unwahrscheinlich, daß der Gegenstand die lange Zeit, die er brauchte, um vom Rande des Gesichtsfeldes bis in die Mitte zu kommen, unbemerkt hätte bleiben können. Der Eindruck wird daher anders gedeutet, nicht als eine Hinbewegung des Objektes nach dem Orte der Reizung, sondern als eine Entstehung des Reizes an Ort und Stelle. Diese Schwierigkeit hat nicht statt bei der Netzhautperipherie, wo daher eine neu auftretende Reizung ohne weiteres als eine Bewegung ins Gesichtsfeld hinein aufgefaßt wird. Nur dann ist eine gleiche Deutung in der Netzhautgrube möglich, wenn ein schon bestehender Reiz sich räumlich ausdehnt. Denken wir uns eine in sich völlig homogene Lichtlinie, die an einer Seite über den Rand des Sehfeldes hinausreicht, sich am anderen Ende verlängern, so ist der Eindruck genau der gleiche, als wenn die ganze Lichtlinie

¹ Die enge Assoziation, die zwischen der veränderten Reizung und der Bewegungsvorstellung besteht, bewirkt auch, daß uns eine bloße Intensitätsveränderung eines bestimmten Objektes (ohne jede objektive räumliche Verschiebung), dennoch den Eindruck macht, „als rühre sich etwas im Sehfeld“. Im seitlichen Sehen, wo diese Erscheinung besonders stark ist, mag auch noch die Irradiation mitspielen, welche bei Helligkeitszunahme die Ränder des Bildes verbreitert, und umgekehrt.

sich in der Richtung der Verlängerung bewegt hätte, und wir sind sehr geneigt, den Eindruck in diesem Sinne zu deuten. Auf der Zweideutigkeit jener Wahrnehmung beruhen einige Bewegungstäuschungen; so scheint bei einem aus kleinen Gasflämmchen bestehenden Illuminationskörper, der entzündet wird, das eine Ende schnell vorwärts zu schießen; ein gleiches gilt bei der § 20 beschriebenen Täuschung an zwei sich kreuzenden Telegraphendrähten.

Aus einem zweiten Grunde ist das Prinzip der veränderten Reizung für die Netzhautgrube nicht so geeignet. Sie ist die Stelle, mit der wir am deutlichsten sehen, lange und genau beobachten, komplizierte Vorgänge in ihre Einzelheiten zergliedern. Dies alles vermag die bloße Thatsache der veränderten Reizung nicht zu leisten. Sie kann uns nur sehr einfache und kurzdauernde Bewegungen zur Anschauung bringen und von diesen auch nur das „Dafs“, nicht das „Wie“. — Auch dieser letztere Umstand weist dem Prinzip als Hauptwirkungsgebiet die Netzhautperipherie zu. Diese hat ganz andere Aufgaben als das Centrum, sie soll nicht selber deutlich sehen, sondern jenem Sichtbares nur signalisieren und es veranlassen, sich darauf einzustellen. Hierzu ist sie schon deswegen geeignet, weil jedes neu in das Gesichtsfeld tretende Objekt zuerst die peripherischen Teile des Auges trifft, die somit eine Art Vorpostendienst für die Netzhautgrube besorgen. Hier ist in der That nicht so sehr das „Wie“ von Bedeutung, als das „Dafs“, das bloße Faktum einer neuen Reizung. Hiermit stimmt es endlich auch überein, dafs die Netzhautperipherie trotz ihrer vielen Unvollkommenheiten eine grofse Empfindlichkeit besitzt für Helligkeitsveränderungen, ja eine gröfsere, als das Centrum.¹

§ 40. Können wir die Richtung einer Bewegung unmittelbar vermittelt des Prinzips der veränderten Reizung erkennen? Nein. Denn jener Vorgang sagt uns nur, dafs eine bisher nicht (oder anders) gereizte Netzhautstelle plötzlich von einem Reiz bestimmter Art getroffen wird. Ob vorher die Stelle rechts oder links davon gereizt war, ist für jenen Umstand ganz gleichgültig. So findet die scheinbare Absurdität, dafs wir Bewegung ohne Richtung wahrnehmen können, ihre

¹ S. meine oben citierte Abhandlung S. 252, 4; S. 261.

Erklärung: jede Bewegung, die lediglich auf Grund des obigen Prinzips wahrgenommen wird, ist richtungslos. Am deutlichsten ist dies wiederum bei der äussersten Netzhautperipherie: von welcher Seite des nicht sichtbaren Raumes das Objekt, das plötzlich gewisse Seitenteile der Retina reizt, auch kommen mag, die Art der Reizung und der daraus resultierende Bewegungseindruck bleiben sich völlig gleich. — An der Stelle des deutlichsten Sehens wird die Richtung meist durch Vergleichung mit vorher dagewesenen Eindrücken bestimmt werden können; doch auch hier giebt es Fälle, wo dies versagt. Denken wir uns ein kleines, schwach sichtbares Objekt sehr schnell durch das gesamte Gesichtsfeld huschend, so kann sich die Reizung der einzelnen Netzhautteile derart schnell folgen, daß sie für unsere Perception absolut gleichzeitig ist. Wir merken dann wohl, daß alle jene Teile plötzlich eine neue Reizung erfahren, und deuten dies auf Bewegung; welcher Teil aber zuerst gereizt, d. h. von wo die Bewegung gekommen sei, bleibt uns unbekannt. Dasselbe ist der Fall, wenn die Simultaneität der veränderten Reizung aller Netzhautelemente nicht durch die Geschwindigkeit der Bewegung, sondern dadurch erzeugt wird, daß der Reiz ein diffundierendes Medium, etwa die Augenlider, passieren muß.¹

§ 41. In dem Prinzip der veränderten Reizung scheinen alle jene Thatsachen eine Erklärung zu finden, welche sich auf die Feinheit der Auffassung von Bewegungen gegenüber der Wahrnehmung ruhender Objekte beziehen. Hier kommen in Betracht: die leichtere Erregung der Aufmerksamkeit, die gröfsere Unterschiedsempfindlichkeit und die gröfsere Sehschärfe für Bewegungen.

Die gröfsere Unterschiedsempfindlichkeit für Bewegungen steht zunächst in einem seltsamen Gegensatz zu der sonst hinreichend erwiesenen Thatsache, daß successive Helligkeitsdifferenzen ein und derselben Netzhautstelle weniger fein unterschieden werden, als simultane benachbarter Gebiete;

¹ Jene Erklärung, die KÜLPE (*Grundrifs d. Psychologie* S. 360) von der Wahrnehmung einer Bewegung ohne Erkennen der Richtung giebt, „daß die Bezeichnungen für allgemeinere Begriffe leichter reproduziert werden, als diejenigen für speziellere Begriffe“, mag in manchen Fällen zutreffen, doch sicherlich enthält sie nicht die einzige, auch wohl nicht die wichtigste Ursache des Phänomens.

denn bei Bewegungen werden jene, im Ruhezustand diese erzeugt. Daher scheint unser Phänomen nur dann erklärlich, wenn wir uns wiederum der Hypothese bedienen, daß wir bei Helligkeitsänderungen von gewisser Geschwindigkeit gar nicht die einzelnen Helligkeitsmomente gesondert, vielmehr den Übergang selbst durch einen spezifischen Empfindungsakt wahrnehmen. Dann wäre es denkbar, daß die Empfindungen der sich ändernden und der sich gleichbleibenden Reizung verschiedene Schwellen hätten; so könnten z. B. zwei nebeneinander bestehende konstante Helligkeiten sich dann eben merklich unterscheiden, wenn ihre Intensitäten bezüglich a und $a + n$ betragen, während die Übergangsempfindung (und mit ihr der Bewegungseindruck) schon dadurch ausgelöst wird, wenn ein Reiz a sich annähernd momentan in den Reiz $a + (n - m)$ verwandelt.¹ Daß die „Übergangsempfindung“ feiner sein könnte, als die Unterschiedsempfindlichkeit für konstante Helligkeiten, ist evolutionistisch sehr wohl denkbar; denn neue Reize sind dem Organismus weitaus wichtiger, als bestehende, und die durch dieselben eventuell zu erhoffende Förderung oder zu befürchtende Schädigung rechtzeitig zu erkennen, ist für das Individuum im Kampf ums Dasein ein notwendiges Erfordernis. Daß wegen dieses praktischen Wertes auch die Aufmerksamkeit mit Vorliebe sich Reizänderungen zuwendet, ist erklärlich. — Ich möchte hier noch den höchst hypothetischen Charakter des obigen Erklärungsversuches betonen, der sich auf die nichts weniger als erwiesene Existenz einer neuen Empfindungsgattung stützt. Dennoch glaubte ich sie nicht verschweigen zu dürfen, da andere plausible Erklärungen zur Zeit fehlen. Den Erklärungsversuch, welcher der Ermüdung die Hauptrolle zuschreibt, weist SCHNEIDER² wegen der geringen Helligkeitsunterschiede, die hier in Betracht kommen, wohl mit Recht zurück; andererseits

¹ Freilich betrug bei meinen Versuchen über Helligkeitsveränderungen die relative Empfindlichkeit für momentane Veränderungen nur $\frac{1}{30}$, woraus ich schloß, daß sie geringer sei, als die Unterschiedsempfindlichkeit für konstante Helligkeiten. (S. diese Zeitschr. Bd. VII, S. 257.) Indessen habe ich letztere dort leider nicht untersucht, und es ist gar nicht im Voraus zu bestimmen, welchen Wert sie unter den besonderen Bedingungen jener Versuchsanordnung ergeben hätte; sind ja doch bei derartigen Experimenten viel weniger die absoluten als die relativen Werte als maßgebend anzusehen und in Betracht zu ziehen.

² SCHNEIDER, a. a. O., S. 401 ff.

entbehrt seine Erklärung, dafs bei Bewegungen psychisch eine Summation von successiven und simultanen Differenzen stattfindet, allzusehr der Wahrscheinlichkeit und der Analogie mit anderen psychologischen Vorgängen.

§ 42. Das Entgegengesetzte scheint bei der gröfseren Sehschärfe für Bewegungen der Fall zu sein; hier halte ich die zur Erklärung herbeigezogene neue Empfindungsgattung („Bewegungsempfindung“) für unnötig und glaube mit ganz bekannten Thatsachen, insbesondere der Irradiation, auszukommen. Sehen wir nämlich zwei ruhende helle Flächen, die durch eine dunkle Strecke getrennt werden, ohne jede Irradiation, so erscheinen sie uns dann als zwei, wenn zwischen ihren scharfen Bildern mindestens ein Netzhautelement ungereizt bleibt. Sehen wir ferner dieselben hellen, ruhenden Felder mit Irradiation, so erscheinen sie uns erst dann als zwei, wenn die Bilder samt den Irradiationsrändern mindestens ein Netzhautelement zwischen sich freilassen; die Felder müssen also weiter voneinander entfernt sein, und zwar um so weiter, je breiter die Irradiationsstreifen sind. Sehen wir endlich ein helles Feld sich bewegen, so werden wir die Bewegung dann wahrnehmen, wenn ein Netzhautelement neu gereizt wird. Hierbei ist es völlig gleichgültig, ob das Feld einen breiten Irradiationsrand hat oder gar keinen, denn die Verschiebung des ganzen Bildes um ein Netzhautelement bleibt stets dieselbe. Somit wird eine Bewegung dann gerade wahrgenommen, wenn ihre Elongation so breit ist, wie der eben merkliche Trennungstreif bei ruhenden, ohne Irradiation gesehenen Objekten. — Alle diese Sätze finden vollkommene Bestätigung in meinen oben geschilderten Experimenten. Erstens waren bei völlig akkommodiertem Auge in der Netzhautgrube (also bei dem Mangel jeglicher Irradiation) Sehschärfe für Ruhe und Bewegung gleich; zweitens waren bei seitlichem Sehen (wo selbst bei akkommodiertem Auge eine beträchtliche Irradiation stattfindet,¹) Bewegungen im allgemeinen leichter wahrnehmbar als ruhende Objekte; drittens nahm dieser Unterschied mit abnehmender Intensität (also mit abnehmender Irradiation) ab. — Somit scheint die Richtigkeit obiger Erklärung mit ziemlicher Sicherheit erwiesen.

¹ Daher dürfte die eigentliche Sehschärfe für die Seitenteile des Auges stets nur an bewegten Objekten untersucht werden, wo die Irradiation nicht störend wirkt.

Dafs man endlich in der Netzhautperipherie von einem in der Ruhe nicht mehr sichtbaren Objekt eine Bewegung nach hinten wahrnimmt, hat seinen Grund in der schnellen Ermüdung jener Retinagebiete. Infolgedessen wird die von dem Objekt im Ruhezustand getroffene Stelle sehr schnell unempfindlich, während die frischeren dahinterliegenden Stellen einer Reizung noch zugänglich sind.

Wenn, wie oben hervorgehoben, das Prinzip der veränderten Reizung isoliert im direkten Sehen nur selten zur Anwendung kommt, so ist doch andererseits wahrscheinlich, dafs es bei allem Bewegungssehen als Faktor mit eingeht, da ja auch bei fast allem Bewegungssehen fortwährende Änderungen in den Reizungen einzelner Netzhautpartien stattfinden.

b) Der Nachbildstreifen.

§ 43. Die veränderte Reizung war eine Wirkung, welche das sich bewegende Objekt besonders an dem der Bewegungsrichtung zugekehrten Ende hervorrief; eine andere Wirkung tritt an der entgegengesetzten Seite ein. Ein Netzhautelement, das noch eben gereizt wurde, wird im nächsten Augenblick nicht mehr vom Bilde des Objekts getroffen, und so findet hier eine veränderte Reizung in negativem Sinne statt. Aber es findet noch ein anderes statt. Der Übergang des nicht mehr gereizten Netzhautteilchens in den Ruhezustand vollzieht sich nicht momentan, vielmehr wirkt der Reiz noch geraume Zeit nach, an der betreffenden Stelle erscheint ein Nachbild, das allmählich an Intensität abnimmt und endlich verschwindet. Hatte nun die Bewegung eine gewisse Schnelligkeit, so wird das Nachbild einer vergangenen Phase noch vorhanden sein, wenn eine neue (eben räumlich davon unterscheidbare) Phase erreicht ist. Ja, bei genügender Geschwindigkeit der Bewegung und Helligkeit des Objekts ist es möglich, dafs die Nachbilder von einer ganzen Reihe von Phasen noch bestehen neben dem Bilde einer neuen. Diese Nachbilder werden um so schwächer sein, je länger sie bestehen, und je weiter sie daher von dem frischen Bild entfernt sind; und das frische Bild wird sich sogar von den nächsten Nachbildern noch beträchtlich an Intensität unterscheiden; denn gerade im ersten Moment des Aufhörens eines Reizes nimmt das Bild sehr schnell an Stärke ab.

So haben wir wiederum ein Empfindungsgebilde eigentümlicher Art, nämlich eine nebeneinander bestehende und ineinander übergehende Reihe von Bildern desselben Objekts, die eine völlige Intensitätsskala enthalten, und zwar übertrifft das erste Bild die anderen an Stärke ganz beträchtlich. Da fast jede Bewegung mittlerer Geschwindigkeit diesen charakteristischen Sinneseindruck erzeugt, so wird er als das sichere Merkzeichen einer solchen angesehen, und sein Auftreten wird daher stets unmittelbar mit der Deutung verbunden: hier geht eine objektive Bewegung vor sich. Ich bezeichne das hier in Anwendung kommende Deutungsprinzip als *Prinzip des Nachbildstreifens* — Es macht aus dem Nebeneinander der Bewegung ein Nebeneinander, sodafs zu seiner Auffassung wiederum ein Zeitmoment genügt, nämlich der, in dem der abgestufte Nachbildstreifen die Aufmerksamkeit erweckt. (Dagegen gehören mehrere Momente dazu, um ihn zu erzeugen.)

§ 44. Wir wollen im folgenden vorläufig voraussetzen, dafs das Objekt punktförmig sei, und dafs man nur einmal und in einem Moment den Nachbildstreifen beobachtet.

So wenig wir im Violinklang den einzelnen Partialklang im allgemeinen gesondert auffassen, so wenig pflegen wir uns beim Anblicken eines sich bewegenden Gegenstandes jener Nachbilder bewußt zu werden; dennoch sind sie es, die dem Empfindungskomplex die eigentümliche Nuance verleihen. Richtet man übrigens die Aufmerksamkeit besonders darauf, so ist der Nachbildstreifen neben dem klaren Bilde des Objekts wohl zu erkennen, namentlich, wenn man neue Eindrücke durch Verdeckung der Augen fernhält. So waren jene „gleichgerichteten Nachbewegungen“, welche ich oben (§§ 32, 33) ausführlich beschrieb, nichts anderes als solche Nachbildstreifen in voller Reinheit, und auch dort waren sie für sich allein im stande, den Bewegungseindruck zu erzeugen. — Ich spreche absichtlich von „Nachbildstreifen“, nicht von „Nachbildreihen“, denn man darf nicht etwa glauben, dafs jedes Nachbild fein säuberlich getrennt von seinem Nachbar dastehe; vielmehr bilden sie, da ja jedes Netzhautteilchen gereizt war, ein Continuum, und der ganze Eindruck ist daher so, als ob das Objekt seitlich verzerrt sei oder einen verwaschenen Schweif aussende von gleicher Farbe und gleicher Breite, aber geringerer Intensität, als es sie selbst besitzt. Die obige Zerlegung in Phasen ist eben

nur eine Abstraktion (freilich, wie das Stroboskop zeigt, eine Abstraktion, zu der wir berechtigt sind). Auch die kurze Dauer der Reizung jedes einzelnen Retinaelements hindert, daß die Bestandteile des Nachbildstreifens volle Klarheit haben. — Es kann daher diese Verschwommenheit ebenfalls dazu beitragen, dem Eindruck sein charakteristisches Gepräge zu verleihen; erschienen ja auch die eben erwähnten gleichgerichteten Nachbewegungen verwaschen und undeutlich.

Ich glaube nun, daß dieses Prinzip es ist, welches bei ruhendem Auge unter normalen Verhältnissen den momentanen Bewegungseindruck herbeiführt, namentlich in der Netzhautgrube. Viel vollkommener als die veränderte Reizung, vermag der Nachbildstreif uns über die Einzelheiten des Bewegungseindruckes genaueres mitzuteilen, und zwar in folgenden Beziehungen:

1. Wir sehen nicht nur, daß sich etwas bewegt, sondern aus dem frischen Bilde des Objekts, was es ist, aus der Ähnlichkeit des Nachbildstreifens mit diesem Bilde, daß es immer dasselbe ist, was sich bewegt hat.

2. Die Richtung der Bewegung ist eindeutig bestimmt, dieselbe fällt nämlich mit der Raumlage des Nachbildstreifens zusammen, und zwar so, daß dessen schwächerer Teil dem Ziele der Bewegung abgewendet ist.

3. Auch ist es denkbar, daß Richtungsänderungen momentan merkbar sein können an der krummen Form des Nachbildschweifens.

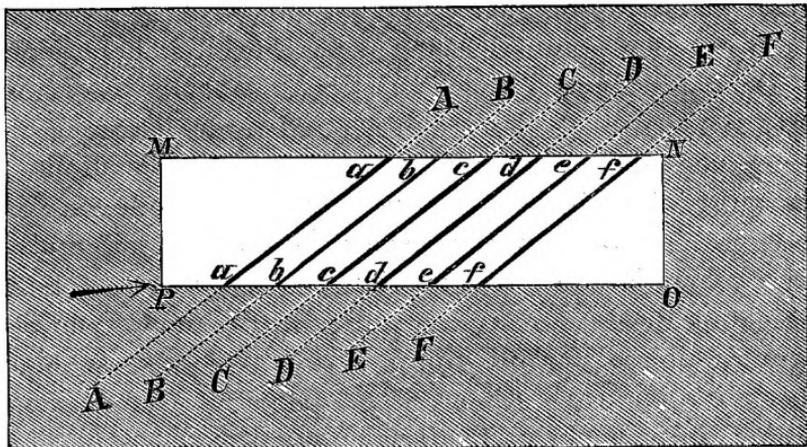
4. Die Geschwindigkeit der Bewegung ist von Einfluß auf die Länge, die Deutlichkeit und die Helligkeitsabstufung des Nachbildstreifens. Da die Länge indessen auch von der Intensität des Objekts abhängt, so wird sie weniger zur Beurteilung der objektiven Geschwindigkeit benutzt, als die beiden anderen Merkmale. Je langsamer die Bewegung vor sich geht, um so längere Zeit wird jede einzelne Netzhautpartikel vom Reiz getroffen, und um so schärfer ist daher der Eindruck; andererseits werden zwei gereizte Stellen bei langsamerer Bewegung größere Intensitätsunterschiede aufweisen, als *ceteris paribus* bei schnellerer, da zwischen der Reizung beider Punkte dann längere Zeit verflossen ist. Ist die Geschwindigkeit sehr groß, so hört der Intensitätsunterschied der Nachbilder überhaupt auf und mit ihm auch der Eindruck der Bewegung.

Das zeigt der scheinbar ruhende, feurige Ring, den die im Kreis geschwungene glühende Kohle erzeugt. Ein gleiches gilt meist von der Wahrnehmung des Blitzes, bei dem lediglich die Thatsache der neuen Reizung den Bewegungseindruck herbeiführt, während die intensive, in sich völlig homogene Zickzacklinie des Nachbildes uns nur sagt, daß die (anderwärts erkannte) Bewegung sehr schnell gewesen sein müsse, aber uns nicht verrät, wo der Anfang und wo das Ende der Bewegung sei. Dagegen zeigt das Stroboskop, in welchem das neue Bild mit dem schon stark abgeschwächten Nachbild der vorhergehenden Phase, und eventuell auch mit den noch viel stärker geschwächten früheren Stadien simultan ist, deutlich den Bewegungseindruck.

5. Der Nachbildstreifen ermöglicht es uns endlich, komplizierte Bewegungen nach verschiedenen Richtungen zugleich aufzufassen. In jedem Moment der Wahrnehmung haben wir ein System von Streifen, die wir ebensogut in ihren Richtungen auseinanderzuhalten vermögen, wie etwa das ruhende Bild der Strahlen eines Sternes. Selbst Kreuzung einiger Streifen macht ein Erkennen nicht unmöglich, da jeder Streif, durch die Übereinstimmung seiner Einzelbestandteile unter sich und mit dem frischen Bilde, nicht mit anderen konfundiert werden kann. Diese Möglichkeit der Wahrnehmung zusammengesetzter Bewegungen in ihren Teilen ist von größter Wichtigkeit und erhöht die Fähigkeit des Auges, äufere Vorgänge zu beobachten, ganz beträchtlich. Hervorheben möchte ich, daß diese vielleicht höchste Funktion des Bewegungssehens durch Augenbewegungen nicht ermöglicht werden kann.

§ 45. Gehen wir nun von der Voraussetzung ab, daß das Objekt punktförmig sei, und betrachten wir die Modifikation des Eindruckes, wenn es einige Ausdehnung hat. Ist das Objekt in der Richtung der Bewegung völlig homogen, z. B. ein weißer Streifen, so wird von dem Ende, das der Bewegungsrichtung zugekehrt ist, gar kein Nachbildstreifen entwickelt werden können, da ja die Reizung ununterbrochen und gleichmäfsig bestehen bleibt; hier kann also der Bewegungseindruck nur durch das Prinzip der neuen Reizung erfolgen; am anderen Ende dagegen wird sich der Nachbildstreifen in voller Kraft entfalten können. — Ist der bewegte Gegenstand nicht homogen, so wird der am Vorderende sich entwickelnde Nachbildstreifen in fortwährenden Konflikt kommen mit den andersartigen neuen

Reizungen, die dieselbe Netzhautstelle treffen; d. h. die folgenden Eindrücke werden nur teilweise und in unbestimmterer Form zur Geltung kommen. Die Undeutlichkeit und Verschwommenheit also, die schon dem Nachbildstreifen als solchem anhaftete, wird hier in noch verstärktem Maße in den mittleren Partien des Objekts auftreten. Kann schon diese Verschwommenheit als gewisses Charakteristikum des Vorganges gelten, so kommt noch die neue Reizung am Anfang und der reine Nachbildstreifen am Ende hinzu, um auch bei einem ausgedehnteren Objekt den spezifischen Bewegungseindruck zu erwecken. — Ist endlich das Objekt (oder ein Teil desselben) zwar homogener, bewegt sich aber in einer anderen Richtung, als in der der Homogenität,



so sind oft gewisse Täuschungen die Folge. *AA* sei eine in sich homogene schwarze Linie, welche sich in der Richtung des Pfeiles am ruhenden Auge vorbeibewegt. Die Bewegung geschehe so schnell, daß, wenn die Lage *FF* erreicht ist, noch ein schwaches Nachbild der Lage *AA* vorhanden ist. Der Nachbildstreif, der von *AA* bis *FF* reicht, hat, falls die Linie stets in ihrer ganzen Länge sichtbar war, die Richtung des Pfeiles, und auf diese Richtung wird daher die Bewegung, also richtig, gedeutet. Betrachten wir nun aber die sich bewegende Linie durch den Ausschnitt *MNOP* eines Schirmes, so ändert sich der Eindruck; der Nachbildstreif hat jetzt die Richtung *MN*; zwar stammen seine einzelnen Phasen, z. B. *aa*, *bb*, *cc* nicht von gleichen Teilen der schwarzen Linie, aber da diese homogen ist, so merken wir dies nicht und deuten daher die

ganze Bewegung fälschlich nach der Richtung des Nachbildstreifens, also von M nach N .¹ — Diese Betrachtung läßt sich ohne weiteres auf die Wahrnehmung eines Schraubengewindes übertragen, nur daß an die Stelle des Schirmausschnittes hier der seitliche Rand des Cylinders tritt, auf dem sich der Schraubengang befindet; daher erblickt man hier jene scheinbar nach oben oder unten gerichtete Bewegung. — Bei der PLATEAUSCHEN Spirale bewegt sich jedes Teilchen parallel der Kreisperipherie, dagegen ist die Richtung des Nachbildstreifs (vom schwächsten Bilde zum stärksten gerechnet) centrifugal oder centripetal; demgemäß auch der Bewegungseindruck. — Ähnliches gilt von dem Wellenphänomen (§ 20 ε); hier bedarf es eines nicht homogenen Gegenstandes in der homogenen Wassermasse, um zu erkennen, daß die Fortpflanzungsrichtung der Gesamtbewegung nicht mit der Bewegungsrichtung jedes Einzelteilchens identisch ist. — Denken wir uns ferner in Figur 1 nicht nur die Linie AA bewegt, sondern auch den Schirm, und zwar letzteren in der Richtung von oben nach unten, so liegen die der Reihe nach sichtbaren Linienteile auf einer nach unten offenen Kurve. Diese Kurve ist bestimmend für den Nachbildstreif und somit für die scheinbare Bewegungsrichtung. Daher entsteht bei Verschiebung zweier in sich homogener Objekte jene Scheinbewegung, deren Verlauf durch die Kurve der scheinbaren Durchschnittspunkte bestimmt ist. (§ 20 δ.)

§ 46. Einige wichtige Thatsachen ergeben sich noch dadurch, daß vermittelt der Nachbilder verschiedene Phasen einer Bewegung thatsächlich gleichzeitig gesehen werden. Hierdurch wird es z. B. erklärlich, daß bildende Künstler in der Darstellung organischer Bewegungen objektiv ungleichzeitige Stadien vereinigen und daß uns der Eindruck dieser in Wirklichkeit ganz unmöglichen Stellung höchst natürlich erscheint: die Phasen sind successiv, aber wir sehen sie simultan, weil von der einen noch das Nachbild in beträchtlicher Stärke vorhanden ist, wenn von der anderen der frische Eindruck erfolgt. Erst die Momentphotographie muß uns von der objektiven Falschheit unserer Anschauung überzeugen. — In der einfachsten Form haben wir diese Erscheinung bei der Täuschung, die

¹ Währt die Beobachtung längere Zeit, so kann ganz dieselbe Täuschung durch Phasenvergleihung herbeigeführt werden.

durch die Verschiebung eines rotierenden Rades gegen ein Gitter entsteht. Wie schon im § 20 δ ausgeführt, haben hier die Speichen scheinbar die Form derjenigen Kurven, die durch die successiven Durchschnittspunkte jeder Speiche mit einem Gitterstab sich bilden. Auch diese successive Reihe wird durch Nachbilder für uns vollkommen simultan. — Endlich fällt hier auch Licht auf jene eigentümliche Thatsache (§ 9), daß Wahrnehmungen von Bewegungen innerhalb einer kürzeren Zeit möglich sind, als zur Auffassung einer Ungleichzeitigkeit gehört. Zum Zustandekommen des Nachbildstreifens gehört eben nur objektive Ungleichzeitigkeit, nicht deren Wahrnehmung; sobald jene nur bewirkt, daß der subjektiv simultane Eindruck in seinen verschiedenen Teilen verschiedene Intensität hat, findet dessen Deutung auf Bewegung statt.

Welche Rolle der Nachbildstreifen spielt, wenn er in einer Reihe von Zeitmomenten beobachtet wird, findet später (§ 51) seine Erörterung.

c) Die Augenbewegung.

§ 47. Das Verfolgen des bewegten Objectes mit den Augen ist derjenige Akt, mittelst dessen wir am häufigsten Bewegungen beobachten. Man glaubte, den psychischen Gehalt dieses Aktes erschöpft zu haben, wenn man jene Muskelempfindungen in Betracht zog, welche die Kontraktion der Bulbusmuskeln begleiten. Diesen Muskelgefühlen schrieb man eine fundamentale Bedeutung für das gesamte Bewegungssehen zu. STRICKER¹ wollte sogar alle Bewegungsvorstellungen darauf zurückführen. Alledem kann ich nicht zustimmen. Der Wahrnehmungsakt von Aufsenbewegungen, wie er sich an Augapfelbewegungen anschließt, ist ein höchst komplizierter, in den zwar die Muskelsensationen als Moment eingehen, doch nicht als das fundamentalste, geschweige denn als einzigstes. Jener Wahrnehmungsakt bedarf daher dringend der Analyse, die ich im folgenden zu geben versuche.

Die Annahme, daß die Muskelempfindung allein eine objektive Bewegung sinnlich übermitteln könne, schließt stillschweigend eine weitere in sich ein, nämlich, daß in anderer, insbesondere optischer, Beziehung der Eindruck Konstanz und

¹ STRICKER, *Studien über die Bewegungsvorstellungen*. Wien 1882.

Ruhe zeige, da ja das Bild des bewegten und betrachteten Objektes stets an dieselbe Stelle des Auges falle. Der Gesichtseindruck an sich also könne hier nimmermehr objektive Bewegung verraten. Dies entspricht in dreifacher Beziehung nicht dem Thatbestande:

Erstens: In dem Augenblicke, in welchem das Objekt seine Bewegung anfängt, ist, abgesehen von verschwindend wenig Zufällen, das Auge nicht in einer solchen Bewegung, daß es schon mit dem Objekte mitgeht. Vielmehr ist es meist in gar keiner oder in einer beliebig anderen Bewegung begriffen. Dies bedeutet, daß sich das Bild über die Retina schiebt, d. h. daß es eine neue Reizung ausübt, bezw. einen Nachbildstreifen erzeugt. Erst in diesem Augenblicke, also nachdem eines der beiden anderen Prinzipien gewirkt hat, wendet sich das Auge dem Objekte zu und beginnt nun mitzugehen. Das Auge wird zum Verfolgen eines Objektes erst veranlaßt, nachdem es auf eine andere Weise Kenntniss erhalten hat, daß sich etwas im Gesichtsfelde bewegt.

Zweitens: Während des Folgens selbst ist nun der optische Eindruck durchaus nicht der der Ruhe. Nur ein Teil des Gesichtsfeldes bewahrt eine wenigstens annähernde Konstanz, nämlich derjenige, der vom bewegten Objekte angefüllt ist. Nun aber befinden sich neben dem bewegten Objekte stets auch Gegenstände im Gesichtsfelde, die objektiv in Ruhe sind. An diesen streift das bewegte Auge vorbei, sie entsenden ihr Bild nach immer wechselnden Teilen der Netzhaut, d. h. sie wirken genau so, wie bei ruhendem Auge bewegte Objekte. Der optische Eindruck unterscheidet sich somit durchaus nicht prinzipiell von dem Bewegungseindrucke bei fixiertem Auge.

Drittens: Aber selbst für das bewegte Objekt, welches wir dauernd mit dem Auge verfolgen, gilt der Charakter der Konstanz nur in sehr beschränktem Maße. Was heißt denn: einen Gegenstand mit dem Auge verfolgen? Es bedeutet doch nicht, daß etwas wie ein unsichtbares straffes Band zwischen beiden bestände, durch welches das Auge einfach mitgezogen wird; vielmehr muß sich das Auge selbst nach dem Objekte richten und einstellen, und zwar jeden Moment von neuem. Die Bewegung des Auges ist hier durchaus keine ungestörte, glatt ablaufende, etwa wie bei Ausmessung einer Länge.

Nachdem es begonnen hat, den bewegten Gegenstand zu fixieren, nimmt es eine gewisse Geschwindigkeit an, um ihm zu folgen. Diese Geschwindigkeit ist nicht von vornherein bekannt, man muß sie ausprobieren; d. h. dem Auge verschiedene Geschwindigkeiten geben, bis der Gegenstand immer an derselben Stelle das Bild erzeugt. Ehe diese Geschwindigkeit gefunden, hat sich das Bild fortwährend auf der Netzhaut verschoben. — Aber nehmen wir an, daß dieser Prozeß sehr schnell vor sich geht, also daß das Auge nach verschwindend kleiner Zeit eine Geschwindigkeit erlangt hat, die der des Objektes entspricht, so ist auch jetzt noch nicht der fernere Verlauf der Augapfelbewegung ein glatter. Bei der gegenwärtigen Schnelligkeit und Richtung der Augenbewegung wird das Bild des Objektes nur so lange dauernd dieselbe Stelle der Netzhaut treffen, als die Winkelgeschwindigkeit des Objektes zum Auge die gleiche bleibt. Dies aber ist fast bei keiner Bewegung auch nur während kleiner Bruchteile einer Sekunde der Fall. Selbst die einfachsten Bewegungsvorgänge, geradlinige, gleichförmige, ändern fortwährend ihre Winkelgeschwindigkeit. Das Auge kann diese fortwährenden Änderungen vorher nicht kennen, vor allem nicht in ihrer Größe ermessen; und so wird denn in einem fort das Bild die eben gereizte Netzhautstelle verlassen, und es wird diese Verschiebung durch die früher erwähnten Prinzipien bemerkt werden. Ebenso oft muß sich das Auge auf das Objekt wieder einstellen, bald eine zu schnell gemachte Bewegung wieder zurückmachen, bald das vorausgeeilte Objekt gewissermaßen wieder einholen, bald eine andere Richtung annehmen.

§ 48. Wir können also sagen:

Wenn wir einen bewegten Gegenstand mit den Augen verfolgen, so erzeugt dies keine gleichmäßig fortdauernde, stetig sich ändernde Muskelkontraktion und demgemäß keine einigermaßen einheitliche Empfindung, etwa wie bei Augenmaßversuchen; vielmehr besteht der Vorgang aus einer Unzahl von einzelnen kleinen Rucken, die durch fortwährende Willensimpulse geregelt werden. Der optische Eindruck ist nicht der einer dauernden Konstanz, sondern wird fortwährend in seiner Gleichmäßigkeit unterbrochen durch Verschiebungen des Bildes, d. h. durch neue Reizungen und Nachbildstreifen.

Somit hat der Eindruck von der Bewegung eines Objektes

das wir mit den Augen verfolgen, zu seinen Konstituenten folgende psychischen Vorgänge:

1. Die Wahrnehmung von Nachbildstreifen der ruhenden Objekte in der Umgebung des bewegten.

2. Die Wahrnehmung eines optischen Bildes des bewegten Objektes, das im allgemeinen konstant ist, aber fortwährend kleine Verschiebungen erleidet.

3. Die Wahrnehmung mannigfaltiger Augenmuskelpfindungen, die mit den verschiedenen Rucken sich verbinden.

4. Das Bewusstsein von den fortwährenden Willensimpulsen, die die Bewegung des Auges regulieren.

§ 49. Zu 2, 3 und 4 seien noch einige Bemerkungen gestattet. — Ad 2. Die Verschiebungen des fixierten Objektes können bei langsamer Bewegung desselben durch Phasenvergleichung bemerkt werden, bei schnellerer durch momentan wahrnehmbare Nachbildstreifen und Veränderungen des Reizungszustandes. Wir geben uns zwar nicht im einzelnen Rechenschaft von jeder dieser kleinen Abweichungen, dennoch sind sie deutlich genug, um den Willen fortwährend anzuspannen, sie wieder aufzuheben. Sind die Umstände zur Erzeugung von Nachbildern recht geeignet, so können die Nachbildstreifen vorzüglich beobachtet werden. Denn nichts anderes als solche sind die sogenannten „flatternden Herzen“, denen unter anderem SZILI¹ eine Reihe von Experimenten gewidmet hat. Wenn er auf farbigem Grunde eine sich scharf davon abhebende Marke befestigte und dann das Ganze hin und her bewegte, so schien über der Marke ein Schatten zu schweben, der sich nicht mit derselben völlig deckte und daher wie losgelöst erschien. Der Schatten ist nichts als das Nachbild, welches zurückbleibt, weil das Auge nicht genau die Bewegungen des Objektes mitmachen kann, sondern immer etwas hinterdreinhinkt.

Ad 3. Jenen zahlreichen kleinen Muskelrucken wird naturgemäß eine Zahl verschiedenartiger Muskelempfindungen parallel gehen, und es ist sicher, daß auch diese Muskelempfindungen viel beitragen zu dem eigentümlichen Bewegungseindrucke. Bestritten soll nur werden, daß sie das Fundamentale desselben

¹ SZILI, *Arch. f. Physiol.* 1891. S. 157. *Diese Zeitschrift.* Bd. III. S. 358.

bezeichnen. Nehmen wir einmal an, es gebe auch im Muskel-sinne eine „Übergangsempfindung“, d. h. eine spezifische Empfindung, die nicht durch eine bestimmte Muskelkontraktion, sondern durch den Übergang aus einem Kontraktionszustande in einen anderen erzeugt wird, so würde dieselbe hier dennoch zwecklos sein, da, wie oben bewiesen, der stetigen Bewegung des Objektes gar nicht eine stetig fortschreitende Muskelkontraktion entsprechen kann. Ja, aus der Annahme jener Fähigkeit des Menschen, Kontraktionsänderungen momentan wahrzunehmen, müßte man folgern, daß dann der gesamte Bewegungseindruck den ruckweisen Charakter erhalte, den jene Kontraktionsänderungen haben. Die Thatsache, daß dies nicht der Fall ist, stützt die GOLDSCHIEDERSche Hypothese, daß die Augenmuskeln lediglich sogenannte „Lageempfindungen“ haben, die also nicht durch Kontraktionsänderungen, sondern durch Kontraktionszustände hervorgerufen werden. Somit wäre die Muskelempfindung nicht im stande, momentan den Bewegungseindruck zu erwecken, sondern nur, ihn aus mehreren Empfindungsmomenten zu erschließen; ihr Beitrag zur Bewegungswahrnehmung besteht also darin, daß auf sie das schon mehrfach erwähnte Prinzip der muskulären Phasenvergleichung angewandt wird, auf das wir noch einmal zurückkommen werden.

§ 50. Ad 4. Dagegen sind neben den rein optischen Eindrücken die Willensimpulse für den momentanen Eindruck der Bewegung höchst wichtig. Dieses fortwährende Regulieren und Neueinstellen, dieses Auf-der-Lauer-liegen, daß einem der Gegenstand nicht entwische, das dadurch bedingte intensive Anspannen der Aufmerksamkeit (deren Nachlassen sich sofort durch eine größere Verschiebung des fixierten Objektes rächt), dies alles erzeugt einen ganz charakteristischen psychischen Zustand, der uns in jedem Augenblicke lehrt, daß der Gegenstand, mit dem wir dieses Haschespiel treiben müssen, sich bewege. Hier also bringen die Augenbewegungen ein neues Deutungsprinzip zur Wirksamkeit, das ich als das „Prinzip der Willensimpulse“ bezeichnen möchte.

Auch in anderen Thatsachen dokumentiert sich die Wichtigkeit der Willensimpulse für die Bewegungswahrnehmung. Hier ist erstens die Bewegungstäuschung bei Augenmuskellähmungen (§ 19 γ) zu erwähnen. Bei solchen haben wir keine

Muskelempfindungen, auch keine Verschiebungen des Bildes, sondern nur den Impuls, der den Muskel innervieren will; dieser genügt, ohne daß er wirkt, die Meinung hervorzurufen, das Auge bewege sich und mit ihm natürlich die gleichbleibenden Gegenstände. — Hierher gehört zweitens das Verschwinden von Nachbildern bei Augenbewegungen, auf das EXNER¹ aufmerksam macht. Obgleich, oder (wie EXNER richtig sagt) weil die Nachbilder immer mit dem Auge vollkommen mitgehen, haben wir nicht nur keinen Bewegungseindruck, sondern überhaupt keinen Eindruck, während doch sonst die Bewegung gerade geeignet ist, auf nicht gesehene Gegenstände die Aufmerksamkeit zu lenken. Hier haben wir Muskelempfindungen, aber keine Nachbildstreifen und vor allem keine regulierenden Willensimpulse, wie auch das Auge immer wandern möge, ganz beliebig, der Eindruck geht immer mit und wird darum vernachlässigt. — Drittens finden hier Trugbewegungen ihre Erklärung, bei denen ein objektiv ruhender, fixierter Gegenstand nach längerer Zeit der Fixation lebhaftere Bewegungen zu machen scheint (§ 19 *a*). Bei längerem Fixieren eines Gegenstandes ist es nämlich nicht zu vermeiden, daß kleine Abweichungen von der Fixation vorkommen, sei es durch leise, unwillkürliche Bewegungen des Nackens oder Kopfes, sei es durch solche des Augapfels. Man könnte nun glauben, daß die Muskelempfindungen, welche mit diesen Eigenbewegungen verbunden sind, den Bewegungseindruck hervorrufen. Allein hiergegen spricht zweierlei: Vorerst ist es unwahrscheinlich, daß diese schwachen Körperbewegungen, die zum Teil sogar unter der Empfindungsschwelle liegen, den Eindruck einer so intensiven äußeren Bewegung, wie sie bei jenen Täuschungen oft aufzutreten scheint, zu erzeugen vermögen. Ferner aber würde die Bewegungswahrnehmung, wenn jenes ihr Ursprung wäre, verbunden sein mit einer beträchtlichen und bleibenden Verschiebung des Bildes auf der Netzhaut. Das Merkwürdige bei den Trugbewegungen ist aber, daß das bewegt erscheinende Objekt vom Auge verfolgt zu werden scheint, also sein Bild nach derselben Stelle der Netzhaut entsendet. Dies ist nur so zu erklären, daß jene unwillkürlichen Bewegungen des Rumpfes, Kopfes oder Augapfels

¹ EXNER, *Diese Zeitschr.* Bd. I. S. 47 ff.

unbewußt bleiben, daß wir aber, da wir dauernd fixieren wollen, die durch jene Körperbewegungen bewirkten kleinen Abweichungen vom Fixationspunkte fortwährend korrigieren müssen.¹ Und diese korrigierende Thätigkeit, diese von Willensimpulsen geregelte Augenbewegung, durchaus ähnlich jenem oben geschilderten Haschespiel, das wir treiben, wenn wir ein bewegtes Objekt mit den Augen verfolgen, diese Thätigkeit ist es, welche die Trugbewegungen erzeugt.

3. Zusammenwirken der Prinzipien und ihre Anwendung auf einige Einzelheiten.

a) Zusammenwirken der Prinzipien.

§ 51. Überblicken wir die Ergebnisse unserer Analyse, so zeigt sich, daß es fünf seelische Thatsachen sind, welche die Wahrnehmung von Bewegungen vermittelt des Auges ermöglichen. Drei derselben bewirken einen momentanen Bewegungseindruck, zwei bedürfen einer Mehrheit von Empfindungsmomenten. Diese Seelenvorgänge (welche zu Prinzipien der Bewegungsdeutung geworden sind), bestehen nun nicht isoliert nebeneinander, sondern wirken in den mannigfachsten Kombinationen zusammen. Das einfachste Prinzip ist das der *veränderten Reizung*, das unter Umständen schon allein eine Bewegungsauffassung herbeiführen kann. Seine Aufgabe besteht im wesentlichen darin, Bewegungen, die ins Gesichtsfeld eintreten, zu signalisieren und die Aufmerksamkeit auf sie zu lenken, worauf es den übrigen Wahrnehmungsarten die genauere Beobachtung überläßt. — *Der Nachbildstreifen*, welcher sich wohl nie ohne das eben genannte Prinzip findet, bezeichnet die wesentliche Bedingung für den momentanen Bewegungs-

¹ Auch CHARPENTIER (*Comptes rendus* [Paris] CII. S. 1155. [1886]) fand, daß das scheinbar sich bewegende Objekt stets mit derselben Netzhautstelle gesehen wurde, schloß aber daraus fälschlich, daß das Auge in der That absolut unbewegt war, und daß lediglich die Vorstellung der Bewegung die Täuschung bewirke. Mir scheint indes eine absolute Fixation ebenso undenkbar, wie eine solche Wirkung einer Vorstellung. Das Bild ist nicht stets auf derselben Netzhautstelle, aber wir suchen es fortwährend dort zu erhalten, bezw. sobald es sich zu verschieben beginnt, wieder dorthin zu bringen.

eindruck bei ruhendem Auge; die gleiche Rolle bei bewegtem Auge spielen *die Willensimpulse*; dieselben treten niemals isoliert, sondern stets begleitet von beiden ersteren, in Wirksamkeit. — Dauert die Beobachtung länger als einen Empfindungsmoment, was wohl meistens der Fall ist, so greift das höchst wichtige Prinzip der *Phasenvergleichung* Platz. Dieselbe ist entweder *optisch*, wenn verschiedene Gesichtsempfindungen, oder *muskulär*, wenn verschiedene Muskelempfindungen des Augapfels miteinander verglichen werden. Dort wird die Bewegung daraus erschlossen, daß ein gewisses Bild auf der Netzhaut, hier daraus, daß der Augapfel in der Augenhöhle eine andere Stellung einnimmt. — Die optische Phasenvergleichung tritt isoliert ohne Mitwirkung eines anderen Prinzips nur bei sehr langsamen Bewegungen auf (z. B. bei der des Stundenzeigers der Uhr); hat die Bewegung eine mittlere oder größere Geschwindigkeit, so sind die einzelnen Empfindungsmomente an sich schon Bewegungseindrücke, nämlich Nachbildstreifen, und auf diese wird dann bei längerer Beobachtung die Phasenvergleichung angewandt. Der frühere, nur als Erinnerungsbild noch bestehende Nachbildstreifen wird für übereinstimmend befunden mit dem neuen und demnach als Repräsentant derselben Bewegung, nur in einem anderen Raumteile, angesehen. Ja noch mehr: diese Vergleichung der Teilbewegungen führt auch zur Wahrnehmung der Beschleunigung und Verzögerung, indem der kürzere und deutlichere Streif anzeigt, daß dort die Bewegung langsamer gewesen ist. — Und noch in einer Beziehung wirken, wenn die Beobachtung mehrere Momente lang währt, Phasenvergleichung mit Nachbildstreifen zusammen: Da Nachbilder vom Beginn ihres Entstehens an sich dauernd abschwächen, so wird es fortwährend sich ereignen, daß Nachbilder, die noch eben ganz schwach vorhanden waren, im nächsten Augenblicke erloschen sind. Werden diese einzelnen Momente miteinander durch Phasenvergleichung kombiniert, so scheint sich der Nachbildstreifen dauernd zu verkürzen, gleichsam in sich selbst hineinzukriechen. Das tritt am reinsten auf von dem Augenblicke an, da die Bewegung aufhört, der Bildstreifen also vorn sich nicht mehr verändert. Diese Verkürzung des Nachbildstreifens habe ich deutlich beobachtet, wenn ich am fixierten Auge rasch eine Kerzenflamme vorbeiführte und dann das Auge schloß. —

Inwiefern diese Erscheinung beiträgt zur Erzeugung der Nachbewegungen, wird später (§ 57) erörtert werden.

§ 52. Von den beiden Arten der Phasenvergleichung ist die muskuläre die weitaus wichtigere; denn bei nicht sehr langsamen Bewegungen bedienen wir uns in den häufigsten Fällen des Hilfsmittels, mit den Augen zu folgen, da wir dann den Gegenstand längere Zeit und mit gröfserer Genauigkeit wahrnehmen; sein Bild hat nahezu die Konstanz eines ruhenden Objektes. Hier haben wir also ein Zusammenwirken sämtlicher Prinzipien. Dafs Nachbildstreifen vorhanden sind, wurde schon oben (§ 47) nachgewiesen, mit ihnen die veränderte Reizung. Ferner treten in jedem Moment regulierende Willensimpulse auf, endlich auch eine grofse Zahl von Lageempfindungen in den Augenmuskeln, welche uns fortwährend davon Kenntniss geben, dafs die Stellung des Augapfels eine andere geworden ist. Dieses System von Lageempfindungen mag ziemlich fein ausgebildet sein, und somit kann der durch sie vermittelte Bewegungseindruck eine grofse Vollkommenheit besitzen. — Muskuläre Phasenvergleichung macht uns übrigens nicht nur fähig, seitliche Bewegungen wahrzunehmen, sondern auch Bewegungen in der zur Verbindungslinie unserer Augen senkrechten Richtung. Entfernt sich ein Gegenstand vom Auge, so bedarf es zu seiner stetigen Fixierung einer fortwährend wechselnden Konvergenz; und auch von der Gröfse dieser Konvergenz geben uns die Lageempfindungen der Augenmuskeln in jedem Moment Kunde. Verbunden hiermit ist allerdings stets eine allmähliche Verkleinerung des Bildes und daher auch ein optischer Bewegungseindruck.

Wir haben zum Schluss noch einige Einzelercheinungen zu erörtern und der Theorie einzufügen, zu deren Zustandekommen mehrere Prinzipien der Bewegungswahrnehmung zusammenwirken und die deswegen nicht unter den bisherigen Rubriken Besprechung finden konnten.

b) Die Umkehrbarkeit des optischen Bewegungseindruckes und die Relativität der gesehenen Bewegungen.

§ 53. Der rein optische Bewegungseindruck, also der durch veränderte Reizung, Nachbildstreifen und optische Phasenvergleichung vermittelte, bestimmt nicht eindeutig, welches

der im Gesichtsfelde befindlichen Objekte seinen Ort gegen die Person des Beobachters wechselt. Dies würde der Fall sein, wenn das Auge unbeweglich wäre. Dann müßten wir stets dasjenige Objekt für das bewegte halten, an welchem jene Erscheinungen auftreten. Nun sind wir aber durch Augenbewegungen im stande, den Eindruck umzukehren; wir vermögen von dem Gegenstande, der noch eben nur im verschwommenen Nachbildstreifen sichtbar war, einen konstanten Eindruck hervorzurufen (indem wir ihn mit dem Auge verfolgen), und andererseits von den vorher konstant scheinenden Bildern in der Umgebung jenes Objektes nunmehr den charakteristischen Bewegungseindruck zu erlangen (da wir nun das Auge daran vorbeistreichen lassen). — Diese Umkehrbarkeit des Bewegungseindruckes ist eine höchst wichtige Thatsache. Zunächst ist sie eine bedeutende Stütze der Vorstellung von der Relativität der Bewegungen. Zeigt sie doch, daß das Charakteristikum der Bewegung nur darin liege, daß ein Objekt im Vergleich zu einem anderen seinen Ort gewechselt habe, wobei beliebig das eine oder andere als scheinbar ruhendes Vergleichsobjekt gewählt werden kann. Die optisch wahrgenommene Bewegung ist immer nur Verschiebung zweier Gegenstände gegeneinander.

§ 54. Wenn aber der optische Bewegungseindruck als solcher nichts darüber auszusagen vermag, welcher Gegenstand der objektiv (d. h. gegen die beobachtende Person) bewegte Gegenstand sei, woher erfahren wir das sonst? Um diese Bewegungsrelation zu erschließen, bedarf es zweier ganz andersartiger Momente: dies sind die Empfindungen von Zuständen und Vorgängen im eigenen Körper einerseits und die Kenntnis von der Beschaffenheit des beobachteten Objektes andererseits. — Wird das Auge bewegt durch Rumpf-, Hals- oder Augapfel-motionen, so ist das konstant bleibende Bild das eines objektiv bewegten Gegenstandes. Hieraus ergibt sich zunächst, daß wir stets, sobald wir das Bewußtsein von Augenbewegungen haben, das konstante Objekt für bewegt ansehen werden. — Aber dieses Bewußtsein fehlt gar oft. Das Auge macht fortwährend unzählige kleine Bewegungen, von denen wir keine Ahnung haben; durch geringe, ebenfalls unbewußt bleibende Schwankungen des Kopfes kann es sehr bedeutende passive Bewegungen erleiden; jeder Lidschlag

vermag die Lage dieses beweglichen Organes zu verändern. Wenn wir uns also auch keiner Augenbewegung bewußt sind, so ist dies durchaus noch kein Zeichen dafür, daß keine gemacht worden sind. Somit dürfen wir obigen Satz nicht umkehren, wir sind nicht berechtigt, zu sagen: wenn wir das Bewußtsein von Augenbewegungen nicht haben, sehen wir das konstant erscheinende Objekt für ruhend an. Hier muß uns unsere Kenntnis von der Beschaffenheit der gesehenen Gegenstände zu Hülfe kommen. Haben wir aus anderweitigen Erfahrungen die Gewißheit, daß eines der sich gegeneinander verschiebenden Objekte nicht in Wirklichkeit bewegt sein kann, so muß es das andere sein. — Hierauf beruht die Täuschung der Wandeldekoration. Wir wissen, daß Häuser im allgemeinen nicht transportabel sind, ebensowenig halten wir ganze Waldungen etc. für lebendig. Sehen wir also ein Haus, einen Wald sich gegen einen Menschen verschieben, so ist der Eindruck leicht zu erwecken, daß der Mensch sich fortbewegt und das Haus stillsteht; selbst ziemlich starke Augenbewegungen können hier unbeachtet bleiben, immerhin werden sie die Natürlichkeit des Eindruckes beeinträchtigen. — In vielen Fällen ist die Größe der Objekte dafür maßgebend, welches wir für bewegt halten. Lehren uns doch tausendfältige Erfahrungen, daß die großen Dinge fest, die kleineren beweglich sind. Diese Erfahrung wird verallgemeinert, wird auch dort angewandt, wo sie nicht berechtigt ist, und so glauben wir denn den Mond mit Windeseile durch die Wolken dahinfliegen zu sehen. Insbesondere übersehen wir sehr leicht Bewegungen solcher Objekte, die den weitaus größten Teil unseres Gesichtsfeldes ausfüllen, und übertragen dann fälschlich die Verschiebung auf die in Wirklichkeit ruhenden Gegenstände. Daher scheint sich die Plattform der Sternwarte zu drehen, nicht das Kuppeldach, und scheint der Landungssteg, auf dem wir stehen, hinauszuschwimmen in die unendliche See. (§ 21.)

Sind die Proportionen der Objekte nicht so verschiedenartig, so kann es wohl auch vorkommen, daß wir jedes der beiden sich gegeneinander verschiebenden Objekte gleichmäßig an der Bewegung aktiv Anteil nehmen lassen; so sehen wir neben dem Wasserfall die Felsen aufwärts steigen; und so kann das Fortspreizen eines Fingers von dem anderen auch auf diesen in entgegengesetztem Sinne mit übertragen werden.

Auf diese Weise finden hier die gesamten Bewegungstäuschungen, welche ich als „übertragene Bewegungen“ bezeichnet hatte, ihre Erklärung. (§ 21.)

c) Die Geschwindigkeit der gesehenen Bewegung.

§ 55. Bei ruhendem Auge wird die Geschwindigkeit des bewegten Objektes beurteilt entweder aus der Länge und Deutlichkeit des Nachbildstreifens oder durch optische Phasenvergleichung.

Bei mitgehendem Auge übernimmt vor allem die muskuläre Phasenvergleichung die Auffassung der Geschwindigkeit. Je kürzer die Zeit ist, die zwischen zwei unterscheidbaren Lagen des Augapfels wahrgenommen wird, um so größer die Geschwindigkeit des fixierten Gegenstandes. Nun kann aber das Mitgehen der Augen auch auf andere Weise erfolgen und erfolgt auch meistens so: nicht nur der Augapfel, sondern auch Kopf und Rumpf führen Bewegungen aus. Alle diese zusammenwirkenden Körperbewegungen sind schwer in ihrer Tragweite abzuschätzen, manche von ihnen fallen einfach unter die Schwelle der Empfindlichkeit, und die Augapfelbewegungen, welche uns noch am besten einen Maßstab der durchlaufenen Strecke geben könnten, werden dadurch jedenfalls verringert. Dies ist ein Grund, warum wir Bewegungen, die wir mit dem Auge verfolgen, in ihrer Geschwindigkeit unterschätzen, verglichen mit Bewegungen, welche wir bei ruhendem Auge wahrnehmen (§ 8). Hierzu kommt als weiterer Grund, daß der Mensch nicht gewohnt ist, Blickfeld und Sehfeld scharf zu sondern; er beurteilt die Geschwindigkeit der Bewegung danach, wielange sie sichtbar bleibt, und der längeren Sichtbarkeit bei bewegtem Auge entspricht dann der Eindruck der geringeren Geschwindigkeit. Und noch ein dritter Faktor ist zu beachten. Bei mitgehendem Auge verhält sich die in Wirklichkeit ruhende Umgebung des fixierten Objektes, da sie sich über die Retina verschiebt, genau so, wie das bewegte Objekt selbst bei ruhendem Auge, und wird auch ebenso in ihrer Geschwindigkeit beurteilt. Da wir nun aber wissen, daß jene Umgebung in Wirklichkeit ruht, so müssen wir, sollte man denken, die beurteilte Geschwindigkeit in gleicher Größe, nur in entgegengesetzter Richtung, dem vom Auge verfolgten, bewegten Gegenstand zuerteilen. Dies ist aber nicht der Fall.

Wir sind nur zu sehr geneigt, bei einer Verschiebung zweier Objekte gegeneinander eine Beteiligung beider uns vorzustellen und namentlich solchen Gegenständen einen Anteil an der Verschiebung einzuräumen, die Bewegungsphänomene an sich aufweisen. Daher wird die beurteilte Geschwindigkeit nicht ganz und gar dem fixierten Objekte zugeschrieben, sondern zum Teil seiner Umgebung und somit die wirkliche Geschwindigkeit unterschätzt.¹

Die fortwährenden Willensimpulse, welche das Nachfolgen des Auges regulieren, sind weniger geeignet, uns von der absoluten Geschwindigkeit als von Geschwindigkeits- und Richtungsänderungen Kenntnis zu geben. Bei ruhendem Auge wird Geschwindigkeitsänderung wahrgenommen durch Vergleichung verschiedener Nachbildreihen, da die deutlichere ja der geringen Geschwindigkeit entspricht.

§ 56. Auf die oben erwähnte verschiedene Beurteilung der Geschwindigkeit bei ruhendem und nachfolgendem Auge führt FLEISCHL² jene Erscheinung zurück, daß sich bei Eisenbahnfahrten die Gegend um den Fixationspunkt zu drehen scheint. Ich glaube, das Phänomen anders erklären zu müssen. — Bewegt sich eine Masse in allen ihren Teilen mit gleicher absoluter Geschwindigkeit, z. B. die Landschaft bei einer Eisenbahnfahrt, so haben die dem Auge nächsten Punkte die größte Winkelgeschwindigkeit, die entferntesten Punkte die kleinste. Jene würden bei ruhendem Auge auf der Netzhaut die weiteste, diese die geringste Verschiebung erleiden, in der Mitte würde die Verschiebung einen mittleren Wert haben. Verfolgen wir nun einen Punkt in der Mitte der Masse mit dem Auge, d. h. lassen wir hier die Verschiebung = 0 werden, so muß die Verschiebung der entfernteren Punkte kleiner, d. h. negativ

¹ WUNDT (*Physiol. Psychol.* IV. Aufl. Bd. II. S. 158) führt die Unterschätzung der Geschwindigkeit bei mitgehendem Auge darauf zurück, daß Augenbewegungen oft zur Ausmessung ruhender Gegenstände verwandt werden, daher die bei objektiven Ortsveränderungen entstehenden Augapfelbewegungen leicht auf dieses Konto geschrieben werden können und so für die Schätzung der Geschwindigkeit verloren gehen. Da nun oben nachgewiesen, wie gänzlich verschiedenartig die Augenbewegungen bei Augenmaßversuchen und die beim Fixieren bewegter Objekte sind, so erscheint mir die Bedeutung jenes Faktors einigermaßen zweifelhaft.

² FLEISCHL, *Wiener Akademie-Berichte*. Bd. LXXXVI. 3. Abt. S. 23.

werden; jene Punkte müssen scheinbar zurückweichen, die näheren Gegenden müssen eine positive Verschiebung gegen den Fixationspunkt erleiden, d. h. sie müssen vorausschleichen; im ganzen: die Landschaft muß um den fixierten Punkt scheinbar rotieren. Somit ist das Rotationsphänomen keine Urteilstäuschung, sondern eine wirkliche Empfindung, welche mit Notwendigkeit durch die physikalisch-optischen Gesetze über den Gesichtswinkel bedingt ist.

d) Die Nachbewegungen.

§ 57. Die Auffassung, daß alle jene Scheinbewegungen, die nach der Wahrnehmung einer Bewegung eintreten, auf unbewußten Augenbewegungen beruhen (STRICKER, HOPPE, HELMHOLTZ), kann durch die in § 22a 1, 2 angeführten That-sachen für widerlegt gelten. Da wir im stande sind, in den Nachbewegungen verschiedene Richtungen gleichzeitig zu erkennen, und da Nachbewegungen (gleichgerichtete, wie entgegengesetztgerichtete) sich stets nur auf diejenigen Netzhautstellen erstrecken, die von dem primären Bewegungseindrucke getroffen worden waren, so haben wir es (wenigstens in den weitaus meisten Fällen) mit rein optischen Erscheinungen zu thun.

Die gleichgerichteten Nachbewegungen sind, wie schon oben angedeutet, nichts anderes, als die bekannten Nachbildstreifen in voller Reinheit. Sowohl deren momentane Beschaffenheit (§ 44), wie auch deren allmähliches Zusammenschrumpfen in sich (§ 51) erzeugt den Eindruck einer Bewegung in gleicher Richtung. Woher stammt nun aber die außerordentlich kurze Dauer dieser gleichgerichteten Nachbewegungen? Da die sich bewegenden Objekte fortwährend am Auge vorbeiziehen, so wirken sie auf jedes Netzhautelement nur sehr kurze Zeit und werden sofort von andersartigen Eindrücken abgelöst. Daß auch das Nachbild einer so transitorischen Einwirkung nur sehr schwach ist und schnell vergeht, ist natürlich. Die gleiche Ursache bewirkt auch, daß ein längeres Beobachten des sich bewegenden Objektes keinen Einfluß hat auf eine Verstärkung der Nachbewegung. Denn die Reizung einer Netzhautstelle wird nicht, wie es bei ruhenden Objekten der Fall ist, durch längere Beobachtung zu einer immer intensiveren gestaltet, sondern fortwährend wieder aufgehoben, das Bild nicht verschärft,

sondern immer wieder verlöscht; daher haben bei noch so langer Beobachtung für die nachher auftretende Scheinbewegung nur die zu allerletzt dagewesenen Eindrücke Bedeutung; ja infolge der voraufgegangenen Ermüdung wird die Nachbewegung eher geschwächt als verstärkt.

§ 58. Durch die Thatsache des Vorhandenseins gleichgerichteter Nachbilder von Bewegungen findet jene Erklärung eine Bestätigung, die WUNDT¹ von den entgegengerichteten Nachbewegungen giebt. „Indem ein schwaches Nachbild der gesehenen Bewegung im Auge zurückbleibt, scheint ein fixiertes Objekt infolge der Relativität der Bewegungsvorstellungen in entgegengesetztem Sinne bewegt zu sein. Das Nachbild, in der Regel zu schwach, um selbst gesehen zu werden, genügt doch, um auf das Objekt die zu seiner eigenen entgegengesetzte Bewegung zu übertragen.“ Wie bei einer Kaskade das dahinterliegende, durch den Wasserschleier durchschimmernde Gestein aufwärts zu streben scheint, so legt sich hier das Nachbild der Bewegung (welches als solches stets gleichgerichtet ist) wie ein dünner, durchsichtiger Schleier über die neuen Gesichtseindrücke und bewirkt deren scheinbare Verschiebung nach der entgegengesetzten Seite.²

Hiermit scheint allerdings die Thatsache nicht übereinzustimmen, daß auch bei geschlossenen Augen, also wenn nach dem primären Eindrucke kein Objekt mehr fixiert wurde, entgegengesetzte Nachbewegungen auftreten. Allein dann vertreten die entoptischen Erscheinungen die Stelle des äußeren Objektes. Auf sie wird gleichsam das schon fast verschwindende Bewegungsnachbild projiziert, und nun findet hier dieselbe Übertragung statt. Daher sieht man auch bei geschlossenen Augen fast nie bestimmte Bilder die entgegengesetzte Richtung einschlagen, sondern man erblickt ein chaotisches Flimmern, das in seinem Durcheinander diese Richtung bevorzugt. Freilich treten zuweilen auch Fälle auf,

¹ W. WUNDT, *Physiol. Psychologie*. IV. Aufl. II. Bd. S. 162.

² Verschiebt sich das Nachbild von konzentrisch sich bewegenden Kreisen (wie sie die PLATEAUSCHE Spirale erzeugt) über ein sich drehendes Rad, so hat hier das Nachbild genau den gleichen Einfluß, den sonst ein reales Gitter ausübt (s. §§ 20d, 46), d. h. die Speichen des Rades scheinen gekrümmt. Auf diese Weise ist wohl das von KLEINER geschilderte Phänomen (§ 22a, 4) zu erklären.

wo die Bilder derselben Objekte, die man vorher wirklich in Bewegung gesehen, nun nach Schließung der Augen die umgekehrte Bewegung zu machen scheinen; wir haben es dann wohl mit einer illusionsartigen Umformung jenes Lichtchaos zu thun, in das die Phantasie ja mit größter Leichtigkeit alle möglichen bekannten Formen hineinzudeuten vermag. Da bei stärkerer Ermüdung des Auges die entoptischen Erscheinungen eine größere Lebhaftigkeit besitzen, so ist auch jenes Ergebnis meiner Beobachtungen erklärlich, daß die entgegengesetzten Nachbewegungen bei geschlossenem Auge besonders dann auftreten, wenn vorher der Eindruck längere Zeit gewährt hatte.¹

§ 59. Auch bei nicht fixiertem Auge hatte ich öfters schwache Nachbewegungen in gleicher Richtung bemerkt, bei denen aber dann die Bilder nicht verschwommen und verzerrt, sondern ganz klar erschienen. Hier haben wir es wohl mit Augenbewegungen zu thun. Wir verfolgen das Objekt während der primären Beobachtung und behalten nach Bedeckung des Auges noch kurze Zeit diese Augenbewegung bei. Es soll also ein gelegentliches Mitwirken der Augenbewegungen an der Erscheinung von Nachbewegungen nicht geleugnet werden; jedoch spielen sie eine untergeordnete Rolle. — Auszunehmen wären davon die Nachbewegungen beim Drehschwindel, die wohl durchaus auf Augenbewegungen zurückzuführen sind.²

e) Die Erinnerungsbilder von gesehenen Bewegungen.

§ 60. Wenn wir uns an ein früher gesehenes, bewegtes Objekt erinnern, so werden wir in den meisten Fällen denjenigen Wahrnehmungsakt reproduzieren, der am häufigsten dagewesen ist, der das Objekt am klarsten zeigt und dessen Reproduktion die geringste Schwierigkeit bietet. Alles dies gilt von der Wahrnehmung durch Nachfolgen des Auges. Denn hier ist der optische Eindruck des beobachteten Objektes annähernd ruhend und gleichmäßig, daher leichter reproduzierbar, als der verschwommene und schnell wechselnde Nachbildstreif; und

¹ Neuerdings hat HOPPE (*Diese Zeitschrift*. Bd. VII. S. 29) versucht, die entgegengerichteten Nachbewegungen aus Ermüdungsvorgängen abzuleiten; doch wird aus seiner Darstellung nicht klar, warum die Ermüdungsprozesse in der entgegengesetzten Reihenfolge vor sich gehen sollen, wie die primären Reizungen.

² S. WUNDT. *Physiol. Psychol.* IV. Aufl. Bd. II. S. 163 f.

was die übrigen psychischen Thatsachen betrifft, welche durch die Bewegung der Augen ausgelöst werden, also Willensimpulse und Muskelempfindungen, so sind wir bei diesen nicht einmal auf bloße Erinnerung angewiesen, sondern können sie zu beliebiger Zeit aufs leichteste wieder von neuem erzeugen, indem wir die Augen in Bewegung setzen. Infolgedessen wird die Reproduktion einer gesehenen Bewegung fast stets von Augenbewegungen begleitet sein, doch liegt gar kein Grund vor, diese aus ganz speziellen Ursachen hervorgehende Erscheinung in der Art, wie STRICKER es that, zu verallgemeinern, daß alle Bewegungsvorstellungen auf Muskelempfindungen beruhen sollten.

Eine Reproduktion der anderen Art der Bewegungswahrnehmung (bei der sich zwei gesehene Objekte gegeneinander verschieben) ist zwar schwer, aber nicht unmöglich; ja sie tritt sogar manchmal unwillkürlich auf; so erwähnte ich schon oben (§ 22), daß ich, gleich FECHNER, nachdem ich zwei sich gegeneinander verschiebende Skalen längere Zeit beobachtet hatte, plötzlich ein lebhaftes Erinnerungsbild dieser Verschiebung vor mir auftauchen sah. — Auch ist es mir leicht möglich, willkürlich das Erinnerungsbild etwa eines Turners zu erzeugen, der die Beine spreizt und wieder schließt. Augenbewegungen allein (die ja auch mitspielen mögen) könnten nie die gleichzeitig nach entgegengesetzten Seiten gerichtete Erscheinung erzeugen; hierzu bedarf es einer Reproduktion des rein optischen Bewegungseindrucks.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung (§ 1)	321
I. Die Thatsachen (§ 2)	322
1. Die Arten der Bewegungswahrnehmung (§§ 3—5).....	322
2. Eigenschaften der Bewegungswahrnehmung (§§ 6—13)	324
3. Die Bewegungswahrnehmungen in verschiedenen Gebieten der Netzhaut (§§ 14—17).....	327
4. Optische Bewegungstäuschungen (sogen. Schein- bewegungen) (§§ 18—23)	328
II. Historisches (§§ 24—27)	335
III. Eigene Beobachtungen und Versuche (§ 28)	341
1. Versuche über Sehschärfe für Ruhe und Bewegung (§§ 29—31)	341
2. Versuche über Nachbewegungen bei geschlossenem Auge (§§ 32—34)	349
IV. Theorie der Wahrnehmung von Bewegungen durch das Auge (§ 35)	353
1. Die Bewegungswahrnehmung als Erzeugnis mehrerer Empfindungsmomente (§ 36)	353
2. Die Bewegungswahrnehmung als Erzeugnis eines Empfindungsmoments (§ 37)	354
a) Die veränderte Reizung (§§ 38—42).....	356
b) Der Nachbildstreifen (§§ 43—46)	363
c) Die Augenbewegung (§§ 47—50)	369
3. Zusammenwirken der Prinzipien und ihre Anwen- dung auf einige Einzelheiten	375
a) Zusammenwirken der Prinzipien (§§ 51, 52)	375
b) Die Umkehrbarkeit des optischen Bewegungseindrucks und die Relativität der gesehenen Bewegungen (§§ 53, 54).	377
c) Die Geschwindigkeit der gesehenen Bewegung (§§ 55, 56) .	380
d) Die Nachbewegungen (§§ 57—59)	382
e) Die Erinnerungsbilder von gesehenen Bewegungen (§ 60)..	384
