Über das Sehen von Bewegungen.

III. Mitteilung.

Der Ablauf des Bewegungsnachbildes.

Von

Dr. Adolf Basler,

Privatdozent und Assistent am physiologischen Institut zu Tübingen.

(Mit 22 Textfiguren.)

Betrachtet man eine Reihe von möglichst gleichartigen Objekten, die eine gleichmässige Bewegung ausführen, so glaubt man, wenn die Bewegung plötzlich aufhört, dass dieselbe in umgekehrter Richtung stattfindet.

Diese Tatsache wurde seit der Beobachtung Purkinje's¹⁾, dass nach dem Passieren eines langen Reiterzuges die gegenüberliegende Häuserreihe der Strasse sich zu bewegen schien, teils durch unabsichtliche Beobachtungen, teils durch zu diesem Zweck ausgeführte Experimente vielfach bestätigt. Eine systematische Übersicht dieser Untersuchungen zu geben, glaubte ich unterlassen zu dürfen, da sich schon Borschke und Hescheles²⁾ und v. Szily³⁾ dieser Arbeit unterzogen haben.

Vor kurzem haben Cords und v. Brücke⁴⁾ Versuche veröffentlicht, bei denen sie die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes dadurch ermittelten, dass dasselbe durch eine ihm entgegengerichtete wirkliche Bewegung kompensiert wurde.

1) J. Purkinje, Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne, zweites Bändchen. Neue Beiträge zur Kenntnis des Sehens in subjektiver Hinsicht S. 60. Berlin 1825.

2) A. Borschke und L. Hescheles, Über Bewegungsnachbilder. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane Bd. 27 S. 387. 1902.

3) A. v. Szily, Bewegungsnachbild und Bewegungskontrast. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane Bd. 38 S. 81. 1905.

4) R. Cords und E. Th. v. Brücke, Über die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes. Pflüger's Arch. Bd. 119 S. 54. 1907.

In der vorliegenden Arbeit bediente ich mich, um die verschiedenen Geschwindigkeiten des Bewegungsnachbildes während seines Abklingens und auch seine Dauer genauer untersuchen zu können, zunächst der folgenden Methode.

Versuchsanordnung.

Eine sich um ihre vertikale Achse drehende Kymographiontrommel war mit einem weissen Papier überzogen, auf welchem in senkrechter Richtung Streifen von schwarzem Papier nebeneinander aufgeklebt waren. Die ersten Versuche wurden ausgeführt mit Streifen, welche 1 cm breit und ebensoweit voneinander entfernt waren. Später verwendete ich aus verschiedenen Gründen viel dünnere Streifen von 2 mm Breite und 2 mm Abstand.

Die Trommel und das Uhrwerk, das sie im Gang erhielt, wurde der Versuchsperson verdeckt durch einen schwarzen Karton *A* Fig. 1 in welchem nur in der Augenhöhe des sitzenden Beobachters ein rechtwinkliger Ausschnitt *B* von 5 cm Breite und 3 cm Höhe angebracht war, in dem ein ebenso grosser Teil der Trommeloberfläche mit den Streifen sichtbar wurde. In der Mitte des Ausschnittes *B* war an einem Seidenfaden hängend eine Perle aus Wachs als Fixierzeichen angebracht.

Vor dieser Aufstellung nahm die Versuchsperson Platz, und zwar so, dass die Entfernung der Augen von dem Ausschnitt 30 cm betrug. Das Einhalten dieser Entfernung wurde durch eine Kopfstütze gesichert.

Die Versuchsperson sollte mit der Hand die scheinbare Bewegung, welche die Striche als Nachbild ausführten, nachahmen. Zu diesem Zweck war unter dem Ausschnitt *B* eine horizontale Stahlstange *C* vor dem Karton angebracht. Dieselbe liess sich lose in zwei Hülsen *D* und *E* steckend leicht verschieben und um ihre eigene Achse drehen. Die beiden Stative, welche die Hülsen trugen, sind auf der Skizze nicht eingezeichnet.

Damit die Bewegungen der Stange gleichzeitig registriert wurden, war an ihrem Ende ein um die Stange als Achse drehbarer Winkelhebel *F G* angebracht, dessen nach unten gerichteter Hebelarm *F* eine Schreibspitze trug, während der horizontale *G* an einem Haken mit einem kleinen Gewicht belastet war, wodurch der Arm *F* an die

berusste Kymographiontrommel *H* gedrückt wurde. Diese Trommel drehte sich ziemlich langsam und recht gleichmässig um ihre horizontale Achse. Trotzdem wurden bei allen Versuchen Zeitmarken mittels eines Jaquet'schen Chronographen unter jeder Kurve angebracht. Das Stativ mit dem Jaquet'schen Apparat ist auf Fig. 1 nicht dargestellt.

Um sicher zu sein, dass das Uhrwerk, welches die Streifen hinter der Öffnung *B* vorübergleiten liess, auch stets den gewünschten Gang hatte, wurde in der Regel die Geschwindigkeit nach jeder Beobachtung auf der Trommel *H* verzeichnet. Um letzteres ohne

Fig. 1.

komplizierte Vorrichtung ausführen zu können, war an der Stange *C* ein senkrecht auf ihr stehendes Stahlstäbchen *J* verschiebbar befestigt, welches für gewöhnlich nach abwärts hing.

Sollte jetzt die Geschwindigkeit der Streifenbewegung registriert werden, so wurde die Stange *C* um ihre Längsrichtung gedreht, so dass der erwähnte Draht *J* nach oben zu liegen kam und sich mit irgendeinem der schwarzen Streifen deckte. Auf diese Weise war es möglich, die Stange so zu verschieben, dass sie genau der Bewegung folgte. Man brauchte nur darauf zu achten, dass dabei die Nadel *J* stets genau auf einem Streifen liegen blieb. Alle Versuche wurden bei möglichst heller diffuser Tagesbeleuchtung angestellt.

Versuche.

Zunächst handelte es sich darum, festzustellen, wie genau überhaupt eine gesehene Bewegung mit der Stange nachgeahmt werden kann. Zu diesem Zweck setzte ich die Trommel, auf der sich die Striche befanden, in Gang und machte gleichzeitig, so genau wie überhaupt möglich, die Bewegung mit der Stange nach. Sofort nachher wurde die wirklich vorhandene Bewegung registriert, indem, wie soeben beschrieben, die Nadel *J* nach oben geschlagen und mit ihr während der Bewegung ein Strich verfolgt wurde.

Dabei zeigte sich, dass man die Bewegung viel genauer beurteilen und nachahmen kann, als ich es von vornherein erwartet hätte. Die Geschwindigkeit der geschätzten, d. h. mit der Stange *C* nachgeahmten Bewegung war bei allen Beobachtern ziemlich ähnlich der wirklich vorhandenen. Sie wurde jedoch stets etwas zu gross angegeben. Letzteres ist wohl dadurch bedingt, dass die Bewegung nicht mit dem Auge verfolgt wurde, sondern dass man auf ein vor der bewegten Fläche angebrachtes Fixierzeichen sah. In diesem Falle erscheint aber, wie wir aus den Untersuchungen v. Fleischl's¹⁾ wissen, eine Bewegung schneller. Bei mir war der erwähnte Fehler etwas grösser als bei den anderen Beobachtern, aber unter sich stimmten, was die Hauptsache ist, die Schätzungen der einzelnen Beobachter stets ausserordentlich gut überein.

Wenn demnach eine objektive Bewegung sich relativ so genau mit der Hand nachmachen lässt, so dürfte auch die subjektive, welche als Nachbild auftritt, der aufgeschriebenen Kurve nicht zu unähnlich sein.

Der Einfachheit halber soll im folgenden die objektive Bewegung, welche zur Erzeugung eines Bewegungsnachbildes dient, Vorbild genannt werden, eine Bezeichnung, welcher sich auch Cords und v. Brücke bedienen. So spreche ich kurz von Vorbilddauer und Vorbildgeschwindigkeit.

Die Verschiebungen sind in der Regel in Millimetern und als Sehwinkel angegeben und ihre Geschwindigkeit auch als Winkelgeschwindigkeit, wobei der Knotenpunkt des beobachtenden Auges als Zentrum gedacht ist, um das die Bewegung — im vorliegenden Falle — mit einem Radius von 30 cm Länge erfolgt.

1) E. v. Fleischl, Physiologisch-optische Notizen. 2. Mitteilung. Wiener Sitzungsber., math.-naturw. Klasse Bd. 86 Abt. 3 Jahrg. 1882 S. 8 (17). Wien 1883.

Geschwindigkeit des Nachbildes.

Bei der Untersuchung des Nachbildes selbst und bei ihrer graphischen Registrierung fällt nun sofort auf, dass seine Geschwindigkeit zuerst ziemlich gross ist und zum Schlusse immer kleiner wird. Die Kurve war stets mit ihrer Konkavität nach oben gerichtet, wie aus folgender Figur zu ersehen ist.

Das gleiche beobachtete Oppel¹⁾ an den Nachbildern von Flüssen, von denen er sagt: „Die Bewegung wurde ganz allmählich langsamer und unmerklicher.“

Fig. 2. Bewegungsnachbild. Vorbilddauer 20 Sek., Vorbildgeschwindigkeit 5 mm = 57 Winkelminuten in der Sekunde. Dicke Streifen. Zeitmarken = Sekunden. Geschwindigkeit des Nachbildes in der ersten Sekunde ungefähr 4 mm, Dauer ungefähr 12 Sek.

Auf diese Erscheinung machen auch Borschke und Hescheles²⁾ aufmerksam, und sie bildet die Ursache dafür, dass Cords und v. Brücke³⁾ die scheinbare Bewegung des Nachbildes nur kurze Zeit durch eine gleichmässige objektive Bewegung kompensieren konnten.

Häufig zeigt der Anfang der Kurve eine ausserordentlich schnelle Abwärtsbewegung. Dieses Stück der Kurve ist falsch und rührt

1) J. J. Oppel, Neue Beobachtungen und Versuche über eine eigentümliche, noch wenig bekannte Reaktionstätigkeit des menschlichen Auges. Poggendorff's Annalen d. Physik u. Chemie Reihe 4 Bd. 9 (99) S. 540 (542). 1856.

2) A. Borschke und L. Hescheles, Über Bewegungsnachbilder. Zeitschrift f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane Bd. 27 S. 387 (391). 1902.

3) R. Cords und E. Th. v. Brücke, Über die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes. Pflüger's Arch. Bd. 119 S. 54 (61). 1907.

daher, dass im Moment, in welchem die Bewegung der Stange begonnen werden soll, diese ruckweise verschoben wird. Man ist sich der Unrichtigkeit dieser Bewegung, auch schon während sie erfolgt, bewusst.

Dieses ruckweise Verschieben der Stange erstreckt sich immer nur auf Bruchteile einer Sekunde und wurde, wo es vorhanden ist, nicht berücksichtigt.

Thompson¹⁾, Tschermak²⁾ und Hoppe³⁾ erwähnen die Tatsache, dass die Nachbildbewegung von Zeit zu Zeit aufhört, um dann wieder von neuem einzusetzen. Borschke und Hescheles⁴⁾ stellen jedoch in Abrede, dass „mehrere wohl getrennte Phasen“ im Ablaufe des Phänomens zu unterscheiden sind.

Cords und v. Brücke⁵⁾, welche das Bewegungsnachbild durch eine demselben entgegengerichtete Bewegung kompensierten, machten häufig die Wahrnehmung, „dass das Überwiegen der Scheinbewegung zuerst ein sehr lebhaftes war, dass diese dann von der wirklichen Bewegung nahezu kompensiert wurde, um dann von neuem wieder, wenn auch schwächer als das erstemal, aufzutreten usw. Dieses Spiel konnte sich 5—6 mal wiederholen“.

Demnach war zu erwarten, dass die Geschwindigkeit, wenn sie eine Zeit lang eine bestimmte Grösse hatte, plötzlich wieder zunimmt, was sich durch ein schnelleres Absinken der Kurve bemerkbar machen muss. Diese Tatsache liess sich auch häufig an meinen Kurven beobachten.

Was nun die Geschwindigkeit des Nachbildes anlangt, so ist aus dem eben Gesagten ohne weiteres klar, dass es sich dabei nicht um die Gesamtgeschwindigkeit handeln kann, sondern man muss die einzelnen Phasen des Nachbildes trennen.

Bei einer Vorbilddauer von 20 Sekunden und bei einer Geschwindigkeit des Vorbildes von 5 mm oder 57 Winkelminuten in der Sekunde hatte das Nachbild in der ersten Sekunde seines Auf-

1) und 2) mir nicht zugänglich, zit. bei Cords und v. Brücke, Pflüger's Arch. Bd. 119 S. 54 (63). 1907.

3) J. Hoppe, Studie zur Erklärung gewisser Scheinbewegungen. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane Bd. 7 S. 29 (35). 1894.

4) A. Borschke und L. Hescheles, l. c. S. 392.

5) R. Cords und E. Th. v. Brücke, l. c. S. 63.

tretens, wenn es sehr deutlich war, eine Geschwindigkeit von 4 mm oder etwa 46 Winkelminuten in der Sekunde. 5 Sekunden nach dem Anfang des Nachbildes hatte es eine Bewegung von 1,3—1,5 mm resp. 15—17 Winkelminuten pro Sekunde. In anderen Fällen waren die Geschwindigkeiten zu den angegebenen Zeiten viel geringer, oft nur halb so gross.

Wenn nach meinen Beobachtungen die Nachbildgeschwindigkeit am Anfang 4 mm betrug, während das Vorbild sich in der Sekunde 5 mm fortbewegt hatte, so weichen meine Ergebnisse nicht viel von denjenigen von Zehfuss¹⁾ ab, welcher bei einer Vorbilddauer von 1 Minute die Nachbildgeschwindigkeit „wenigstens anfänglich“ für gleich der des Vorbildes schätzte.

Cords und v. Brücke fanden wesentlich geringere Geschwindigkeiten als ich, eine Abweichung, auf die weiter unten (S. 167) näher eingegangen werden soll.

Dauer des Nachbildes.

Da die Versuchsperson die Aufgabe hatte, gerade mit der Geschwindigkeit des Nachbildes und auch, solange letzteres dauert, die Stange zu verschieben, so gibt die Kurve den Verlauf des Bewegungsnachbildes getreu wieder. Deshalb lässt sich aus ihr nicht nur die Geschwindigkeit in jeder Phase ermitteln, sondern auch die Dauer des ganzen Bewegungsnachbildes.

Immerhin ist es oft nicht leicht, das Ende der Bewegung genau zu bezeichnen, da die Scheinbewegung zum Schlusse ausserordentlich langsam ist und die Kurve sich infolgedessen ganz allmählich der Abszissenachse nähert, eine Schwierigkeit, auf die schon Budde²⁾ aufmerksam macht.

Das gleiche meinen Borschke und Hescheles³⁾, die sich ein Nachbild erzeugten von zwei sich senkrecht zueinander bewegenden Gittern, wenn sie sagen: „Der Übergang in Ruhe erfolgt jedoch nie scharf bestimmbar, so dass man manchmal im ungewissen sein kann, ob das Gitter schon stehe“. Trotz dieser Schwierigkeit

1) G. Zehfuss, Über Bewegungsnachbilder. Annalen d. Physik u. Chemie N. F. Bd. 9 S. 672 (673). 1880.

2) E. Budde, Über metakinetische Scheinbewegungen und über die Wahrnehmung der Bewegung. Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1884 S. 127 (137).

3) A. Borschke und L. Hescheles, l. c. S. 392.

lässt sich aber das Ende des Nachbildes in den meisten Fällen verhältnismässig sicher feststellen.

So dauerte für mich das Nachbild bei einer Geschwindigkeit des Vorbildes von rund 5 mm oder 57 Winkelminuten in der Sekunde und einer Beobachtungszeit desselben von 20 Sekunden, wenn als bewegte Konturen die dünnen Streifen verwendet wurden, 14—21 Sekunden.

Dabei wurde unter 25 zu verschiedenen Zeiten ausgeführten Beobachtungen das Nachbild wahrgenommen:

14	Sekunden	lang	2 mal,
15	"	"	1 "
16	"	"	3 "
17	"	"	4 "
18	"	"	4 "
19	"	"	5 "
20	"	"	3 "
21	"	"	3 "

Diese Werte stimmen ziemlich gut überein mit den von früheren Beobachtern gefundenen. Während nämlich nach Oppel¹⁾ das Bewegungsnachbild „immer nur einige Sekunden lebhaft fort dauert“, fanden Borschke und Hescheles²⁾, dass die Bewegungsempfindung nach ungefähr 15 Sekunden erloschen ist.

Verschiedenheit des Bewegungsnachbildes bei verschiedenen Personen und zu verschiedenen Zeiten.

Wenn auch genau die gleichen Bedingungen eingehalten werden, dann sehen doch verschiedene Personen das Bewegungsnachbild ausserordentlich verschieden, und zwar hinsichtlich der Dauer als auch der Geschwindigkeit.

Ich z. B. sehe das Nachbild im Anfange eine relativ sehr schnelle Bewegung ausführen und lange anhalten. Ebenso sieht es eine grössere Anzahl von Versuchspersonen. Andere dagegen sahen unter den gleichen Versuchsbedingungen die Bewegung viel langsamer und kürzer dauernd, so dass die Kurven dadurch im ganzen viel kleiner wurden.

1) J. J. Oppel, Neue Beobachtungen und Versuche über eine eigentümliche, noch wenig bekannte Reaktionstätigkeit des menschlichen Auges. Poggen-dorff's Annalen d. Physik u. Chemie Reihe 4 Bd. 9 (99) S. 540 (542). 1856.

2) A. Borschke und L. Hescheles, Über Bewegungsnachbilder. Zeitschrift f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane Bd. 27 S. 387 (398). 1902.

Da für alle Beobachter die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes während seines Verlaufes allmählich immer geringer zu werden scheint, so bleibt der Gesamtcharakter der Kurve für alle Beobachter derselbe.

An dieser Stelle seien zwei Kurven wiedergegeben, welche die Verschiedenheit deutlicher darstellen dürften als die längste Beschreibung.

Fig. 3. Nachbild nach 20 Sek. Vorbildgeschwindigkeit 5 mm = 57 Min. in der Sekunde. Dünne Streifen. Versuchsperson Ba. Zeitmarken = Sekunden. Geschwindigkeit des Nachbildes in der ersten Sekunde ungefähr 4 mm. Dauer 16 Sek.

Fig. 4. Nachbild nach 20 Sek. Vorbildgeschwindigkeit 5 mm = 57 Min. in der Sekunde. Dünne Streifen. Versuchsperson Bū. Zeitmarken = Sekunden. Geschwindigkeit des Nachbildes in der ersten Sekunde ungefähr 1,5 mm in der Sekunde. Dauer ungefähr 4 Sekunden.

Einer der untersuchten Herren trotz aller Mühe überhaupt kein Bewegungsnachbild.

Schon Plateau¹⁾ beobachtete bei seinen Versuchen mit der Spirale, dass nicht alle untersuchten Personen das Bewegungsnachbild gleich gut sahen, und hebt hervor, dass von acht Personen zwei gar nichts wahrnehmen konnten.

1) J. Plateau, Vierte Notiz über neue, sonderbare Anwendungen des Verweilens der Eindrücke auf die Netzhaut. Poggendorff's Annalen d. Physik u. Chemie Bd. 80 S. 287 (290), 1850.

Aber auch bei einem und demselben Individuum wird zu verschiedenen Zeiten das Nachbild verschieden gesehen.

So sagen Cords und v. Brücke¹⁾: „Mehrals beobachteten wir an verschiedenen Versuchstagen unter sonst gleichen Bedingungen (speziell auch gleicher Beleuchtung) Differenzen zwischen den gefundenen Geschwindigkeiten, die sicher ausserhalb der Fehlergrenzen lagen“. Ähnliche Verschiedenheiten weist, wie ich hinzufügen möchte, auch die Dauer des Bewegungsnachbildes zu verschiedenen Zeiten auf.

Vergleichende Versuche dürfen deshalb nur von einer Person und sofort hintereinander ausgeführt werden, was auch bei meinen Versuchen geschah.

Einfluss der Dauer des Vorbildes.

Budde²⁾ dürfte der erste sein, welcher den Einfluss der Dauer des Vorbildes genauer beschreibt, wenn er erwähnt, dass durch Abkürzung der Dauer der Reize das Nachbild schwächer wird.

Je länger Borsch'ke und Hescheles³⁾ ein System von parallelen Stäben laufen liessen, um so mehr wurde die Richtung des Nachbildes von jener des zweiten Systems abgelenkt, ein Zeichen dafür, dass mit zunehmender Dauer des Vorbildes auch die Geschwindigkeit des Nachbildes wächst.

Cords und v. Brücke⁴⁾ untersuchten Beobachtungszeiten von 5—120 Sekunden und fanden zunehmende Geschwindigkeiten, die sich in eine allmählich flacher werdende Kurve einordnen lassen.

Meine eigenen Untersuchungen wurden zunächst bei einer Geschwindigkeit der Streifen von rund 5 mm oder 57 Winkelgraden in der Sekunde ausgeführt. Bei den Versuchen wurde angefangen mit einer Beobachtung des Vorbildes von 3—5 Sekunden, und während

1) R. Cords und E. Th. v. Brücke, Über die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes. Pflüger's Arch. Bd. 119 S. 54 (62). 1907.

2) E. Budde, Über metakinetische Scheinbewegungen und über die Wahrnehmung der Bewegung. Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1884 S. 127 (133).

3) A. Borschke und L. Hescheles, Über Bewegungsnachbilder. Zeitschrift f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane Bd. 27 S. 387 (397). 1902.

4) R. Cords und E. Th. v. Brücke, l. c. S. 75.

der Versuchsreihe wurde die Vorbilddauer gesteigert bis zu 1 Minute, in manchen Fällen auch bis 2.

Dabei ergab sich, dass sowohl die Geschwindigkeit des Nachbildes wie auch seine Dauer mit zunehmender Vorbilddauer kontinuierlich zunahm.

Diese Ergebnisse seien durch die Kurven Fig. 5—9 anschaulich gemacht, welche einem Versuch vom 2. November entstammen.

Fig. 5. Nachbild nach 5 Sek. Vorbildgeschwindigkeit 5 mm = 57 Min. in der Sekunde. Dünne Streifen. Zeitmarken = Sekunden. Geschwindigkeit des Nachbildes in der ersten Sekunde unbestimmbar. Dauer nicht ganz 1 Sek.

Fig. 6. Nachbild nach 10 Sek. Alles andere wie bei Fig. 5. Geschwindigkeit des Nachbildes in der ersten Sekunde ungefähr 1 mm in der Sekunde. Dauer etwa $4\frac{1}{2}$ Sek.

Fig. 7. Nachbild nach 15 Sek. Alles andere wie bei Fig. 5. Geschwindigkeit des Nachbildes in der ersten Sekunde ungefähr 2,6 mm in der Sekunde. Dauer etwa 18 Sek. (Anfang der Kurve gilt nicht vgl. S. 149). Diese Kurve fällt hinsichtlich der Geschwindigkeit etwas aus der Reihe.

Fig. 8. Nachbild nach 20 Sek. Alles andere wie bei Fig. 5. Geschwindigkeit des Nachbildes in der ersten Sekunde ungefähr 2 mm in der Sekunde. Dauer etwa 20 1/2 Sek.

Fig. 9. Nachbild nach 60 Sek. Alles andere wie bei Fig. 5. Geschwindigkeit des Nachbildes in der ersten Sekunde ungefähr 3 mm in der Sekunde. Dauer 22 Sek.

3 Sekunden war die kürzeste Zeit, bei der ich ein Nachbild erhielt und zwar nur bei ermüdetem Auge. Auch Budde¹⁾ konnte bei einer Beobachtungszeit unter 3 Sekunden keine Nachbewegung wahrnehmen.

Borschke und Heschels²⁾ fanden, dass in einer Versuchsreihe die Beobachtung des einen Stabgitters während 2—3 Sekunden, in einer anderen Versuchsreihe während 4 Sekunden keinen merklichen Einfluss auf die Richtung des Nachbildes ausübte; dass also diese Zeiten unter dem Werte lagen, welcher ein Bewegungsnachbild ermöglicht.

Durch meine Versuche dürften die früheren Beobachtungen jedenfalls dahin zu ergänzen sein, dass durch die Dauer des Vorbildes nicht nur die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes beeinflusst wird, sondern auch seine Dauer.

Bewegungsnachbild im peripheren Sehen.

In einer weiteren Versuchsreihe suchte ich den Einfluss des peripheren Sehens auf die Entwicklung des Nachbildes festzustellen.

Da — worauf auch Cords und v. Brücke hinweisen — bei längerem Fixieren in der Peripherie das beobachtete Gebiet ausserordentlich schnell verschwindet, rückte auch ich das Fixierzeichen nicht zu weit von der bewegten Fläche ab.

Bei den mitgeteilten Versuchen wurde dasselbe 1 cm rechts von dem rechten Rande des Ausschnittes *B* (Fig. 1) angebracht, was einem Sehinkel von ungefähr 1 Grad 54 Min. entspricht. Da ich mit einem Auge allein das Bewegungsnachbild nur unvollkommen wahrnehmen konnte, führte ich auch diese Untersuchung mit beiden Augen aus.

Abwechselnd wurde einmal das Fixierzeichen in der Mitte des bewegten Feldes fixiert und das Bewegungsnachbild registriert, dann wieder sah ich 20 Sekunden lang auf das andere 1 cm von dem Rande des Feldes entfernte Fixierzeichen und schrieb, wie immer, nach Aufhören der wirklichen die scheinbare Bewegung auf.

Bei einem Vergleich der so erhaltenen Kurven konnte ich feststellen, dass die Nachbilder von indirekt gesehenen Bewegungen

1) E. Budde, Über metakinetische Scheinbewegungen und über die Wahrnehmung der Bewegung. Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1884 S. 127 (183).

2) A. Borschke und L. Heschels, l. c. S. 397.

E. Pflüger, Archiv für Physiologie. Bd. 128.

Fig. 10. Nachbild nach 30 Sek. Vorbildgeschwindigkeit 5 mm = 57 Min. in der Sekunde. Dunne Streifen. Fixierzeichen 1 cm rechts vom rechten Rande der bewegten Fläche. Zeitmarken = Sekunden. Geschwindigkeit des Nachbildes in der ersten Sekunde ungefähr 3 mm in der Sekunde. Dauer 22 Sek.

Fig. 11. Nachbild nach 30 Sek. Vorbildgeschwindigkeit 5 mm = 57 Min. in der Sekunde. Dunne Streifen. Fixierzeichen in der Mitte der bewegten Fläche. Zeitmarken = Sekunden. Geschwindigkeit des Nachbildes in der ersten Sekunde ungefähr 2 mm in der Sekunde. Dauer etwa 18 Sek.

wesentlich rascher verliefen als die, welche zentral wahrgenommen werden. Auch in dieser Beziehung stimmen meine Beobachtungen wieder vollkommen überein mit den Ergebnissen von Cords und v. Brücke¹⁾. Ähnlich war der Unterschied in der Dauer des Bewegungsnachbildes. (Siehe Fig. 10 und 11.)

Abhängigkeit des Nachbildes von der Grösse der bewegten Fläche.

Um die Beeinflussung des Nachbildes durch die Ausdehnung der bewegten Fläche in horizontaler Richtung zu untersuchen, waren an der Versuchsanordnung (Fig. 1 S. 147) seitlich von dem Ausschnitte *B* zwei 12 cm lange und 5 cm breite Streifen aus Karton *LL* angebracht, die am oberen Rande der Wand *A* in Haken hängend beliebig gegeneinander verschoben werden konnten, so dass dadurch die Öffnung *B*, hinter der die Bewegung erfolgte, beliebig erweitert oder verengert wurde. Die Entfernung liess sich an einer über der Öffnung angebrachten Skala *K* ablesen.

Bei allen meinen Versuchen liess sich nun unschwer die Tatsache feststellen, dass die Geschwindigkeit wie die Dauer des Nachbildes zunahmen, wenn die Bewegung sich über ein grösseres Gebiet des Gesichtsfeldes erstreckte als über ein kleines.

Diese Beobachtung sei illustriert durch eine Serie von Kurven (Fig. 12—15 S. 160 u. 161), welche bei verschiedener Breite der Öffnung *B* gewonnen wurden, die einem Versuch vom 28. Oktober 1908 entstammen.

Als bewegtes Objekt diente das Papier mit den 2 mm breiten schwarzen Strichen. Die Geschwindigkeit betrug 5 mm = 57 Winkelminuten in der Sekunde.

In der Literatur fand ich nur eine kurze Angabe über den Einfluss der Grösse des bewegten Gesichtsfeldes auf das Nachbild, nämlich bei Hoppe²⁾.

Er arbeitete mit der sich drehenden Notenscheibe einer Spieluhr und fand, dass die Gesamtdauer des Bewegungsnachbildes in einem gewissen Verhältnis zur Grösse der bewegten Fläche steht.

1) R. Cords und E. Th. v. Brücke, l. c. S. 70.

2) J. Hoppe, Studie zur Erklärung gewisser Scheinbewegungen. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane Bd. 7 S. 29 (35). 1894.

Fig. 12. Bewegungsnachbild. Breite der bewegten Fläche 5 cm oder rund $9\frac{1}{2}$ Winkelgrade. Geschwindigkeit des Nachbildes in der ersten Sekunde ungefähr 3,3 mm. Dauer etwa 16 Sek. (Das erste Stück der Kurve gilt nicht vgl. S. 149.) Zeitmarken = Sekunden.

Fig. 13. Bewegungsnachbild. Breite der bewegten Fläche 2 cm oder rund $3\frac{1}{2}$ Winkelgrade. Geschwindigkeit des Nachbildes in der ersten Sekunde ungefähr 3,3 mm. Dauer etwa 12 Sek. Zeitmarken = Sekunden.

Fig. 14. Bewegungsnachbild. Breite der bewegten Fläche 1 cm oder 1 Grad 54 Min. Geschwindigkeit des Nachbildes in der ersten Sekunde ungefähr 2 mm. Dauer etwa 11 Sek. (Erstes Stück der Kurve gilt nicht vgl. S. 149.) Zeitmarken = Sekunden.

Fig. 15. Bewegungsnachbild. Breite der bewegten Fläche $\frac{1}{2}$ cm oder 57 Min Geschwindigkeit des Nachbildes in der ersten Sekunde ungefähr 1 mm. Dauer etwa $7\frac{1}{2}$ Sek. Zeitmarken = Sekunden.

Bei Betrachtung der ganzen Scheibe dauerte das Nachbild oft über eine halbe Minute. Verdeckte er aber die Scheibe mit einem Papier, in welchem nur ein Loch von der Grösse eines Quadratmillimeters ausgeschnitten war, dann währte die Scheinbewegung nur Augenblicke.

Es schien mir nun wichtig zu untersuchen, ob eine Verkleinerung der bewegten Fläche in einer anderen Dimension als in derjenigen, in deren Richtung die Bewegung erfolgt, auch einen Einfluss auf das Nachbild ausübt.

Zu dieser Untersuchung verkleinerte ich die in dem Karton *A* (Fig. 1 S. 147) befindliche rechteckige Öffnung *B* in der Richtung von unten nach oben dadurch, dass vor derselben ein Kartonstreifen mit einem etwa 6 cm langen, horizontalen Spalt angebracht wurde. Je nach der Breite dieses Spaltes hatte man einmal ein hohes, ein anderes Mal ein niedriges sich bewegendes Feld.

Die Versuche lieferten nun alle das einheitliche Ergebnis, dass die Höhe des bewegten Feldes, d. h. diejenige Dimension, in welcher die Bewegung nicht erfolgte, keinen Einfluss hatte auf die Art des Nachbildes.

Ich machte dann noch einen Versuch, bei dem ich das bewegte Feld in beiden Dimensionen einengte, indem ich dasselbe bis auf ein rundes Loch von $\frac{1}{2}$ cm oder 57 Winkelminuten Durchmesser zudeckte. Auch hierbei war das Bewegungsnachbild wahrzunehmen, und es unterschied sich in nichts von dem Nachbild einer 3 cm hohen und $\frac{1}{2}$ cm breiten bewegten Fläche, wie ich sie durch die auf S. 159 beschriebene Anordnung hergestellt hatte. Nun ist allerdings nicht zu verkennen, dass bei einem in der Richtung von rechts nach links verkleinerten Ausschnitt nur im Zentrum des Gesichts-

feldes eine Bewegung vorhanden ist. Ist dagegen die sich bewegende Fläche breit, dann erstreckt sich die Bewegung auch auf ziemlich peripher gelegene Teile des Gesichtsfeldes.

Nun wissen wir allerdings (vgl. S. 157), dass eine Bewegung im Zentrum des Gesichtsfeldes ein wesentlich schwächeres Nachbild zustande kommen lässt als peripher davon sich abspielende Verschiebungen.

Dass damit aber nicht die ganze Erscheinung zu erklären ist, scheint mir aus dem Umstand hervorzugehen, dass eine Verkleinerung der Öffnung *B* (Fig. 1 S. 147) in der Richtung von oben nach unten ohne Einfluss auf das Nachbild bleibt.

Einfluss der Zahl und Breite der Striche.

Borschke und Heschel¹⁾ fanden, dass ein Gitter, welches nur die Hälfte der Stäbe besass, die Richtung des Nachbildes weniger beeinflusste als das andere. Daraus schlossen sie, dass die Geschwindigkeit des Nachbildes mit der Zahl der Reize in der Zeiteinheit zunimmt.

In Übereinstimmung damit beobachtete v. Szily²⁾, dass sich das Nachbild „um so intensiver gestaltet“, je geringer der Abstand der Konturen ist.

Cords und v. Brücke³⁾ geben an, dass bei gleicher Geschwindigkeit des Vorbildes die Geschwindigkeit der Nachbildbewegung bei Beobachtung der schmalen Streifen wesentlich grösser war als bei Beobachtung der breiteren.

Wie eingangs erwähnt, verwendete ich zu meinen Versuchen einerseits Streifen aus schwarzem Papier von 1 cm Dicke, die in einem Abstand von ebenfalls 1 cm auf weissem Papier aufgeklebt waren, andererseits solche von 2 mm Breite und 2 mm Abstand. Die ersteren erschienen unter einem Sehinkel von etwa 1 Grad 54 Min., die letzteren unter einem solchen von ungefähr 23 Min. Ich machte nun bei der Zusammenfassung meiner Ergebnisse und

1) A. Borschke und L. Heschel, Über Bewegungsnachbilder. Zeitschrift f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane Bd. 27 S. 387 (394). 1902.

2) A. v. Szily, Bewegungsnachbild und Bewegungskontrast. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane Bd. 38 S. 81 (104). 1905.

3) R. Cords und E. Th. v. Brücke, Über die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes. Pflüger's Arch. Bd. 119 S. 54 (64). 1907.

bei Ausmessung der Kurven die Beobachtung, dass im allgemeinen die Nachbilder, welche von den breiten Streifen herrührten, weniger schnell verliefen und weniger lang anhielten. Diese Beobachtung hat zunächst wenig Wert; denn wie auf S. 154 hervorgehoben wurde, dürfen die Beobachtungen, die zu verschiedenen Zeiten gewonnen wurden, nicht miteinander verglichen werden.

Deshalb wurde eine vergleichende Untersuchung vorgenommen, was sehr leicht geschehen konnte, da ich zwei Trommeln hatte, welche auf das gleiche Uhrwerk passten. Die eine der Trommeln war mit den breiten, die andere mit den schmalen Streifen versehen. So konnte während der Versuchsreihe sehr schnell mit dicken und dünnen Streifen abgewechselt werden, wobei alles andere gleich blieb. Dass sich der von den erwähnten Autoren angegebene Unterschied auch bei meiner Art der Untersuchung bemerkbar machte, mögen die folgenden beiden Figuren beweisen.

Fig. 16. Nachbild nach 20 Sek. Vorbildgeschwindigkeit 5 mm = 57 Min. in der Sekunde. Dicke Streifen. Zeitmarken = Sekunden. Geschwindigkeit des Nachbildes in der ersten Sekunde ungefähr 2 mm in der Sekunde. Dauer 6 Sek.

Fig. 17. Nachbild nach 20 Sek. Vorbildgeschwindigkeit 5 mm = 57 Min. in der Sekunde. Dünne Streifen. Zeitmarken = Sekunden. Geschwindigkeit des Nachbildes in der ersten Sekunde ungefähr 4 mm in der Sekunde. Dauer etwa 12 Sek.

Aus diesen beiden Kurven ist zu ersehen, dass auch hier Geschwindigkeit und Dauer des Bewegungsnachbildes stets miteinander Hand in Hand gehen.

Einfluss der Geschwindigkeit des Vorbildes.

Budde¹⁾, Borschke und Hescheles²⁾, sowie Cords und v. Brücke³⁾ fanden, dass die Geschwindigkeit des Nachbildes mit der Geschwindigkeit des Vorbildes ansteigt. Ich selbst habe die Abhängigkeit des Nachbildes von der betrachteten Bewegung nicht erschöpfend untersucht, sondern nur zwei verschiedene Geschwindigkeiten hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Nachbild miteinander verglichen.

Fig. 18. Nachbild nach 20 Sek. Vorbildgeschwindigkeit 5 mm = 57 Min. in der Sekunde. Dünne Streifen. Zeitmarken = Sekunden. Geschwindigkeit des Nachbildes in der ersten Sekunde ungefähr $2\frac{1}{2}$ mm in der Sekunde. Dauer 14 Sek.

Ausser der Geschwindigkeit von 5 mm, resp. 57 Winkelminuten in der Sekunde, auf die sich die im vorhergehenden beschriebenen Versuche beziehen, verwendete ich auch noch eine Bewegung von 27 mm, resp. ungefähr 5 Winkelgraden in der Sekunde. Diese Geschwindigkeit war die grösstmögliche. Denn bei nur wenig schnellerer Umdrehung der Trommel trat bei der herrschenden Beleuchtung schon ein Flimmern ein. Bei dem Vergleich der beiden Gangarten waren die Unterschiede bei allen untersuchten Personen

1) E. Budde, Über metakinetische Scheinbewegungen und über die Wahrnehmung der Bewegung. Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1884 S. 127 (132).

2) A. Borschke und L. Hescheles, Über Bewegungsnachbilder. Zeitschrift f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane Bd. 27 S. 387 (393). 1902.

3) R. Cords und E. Th. v. Brücke, Über die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes. Pflüger's Arch. Bd. 119 S. 54 (68). 1907.

so gross, dass ich mich mit verhältnismässig wenig Versuchen begnügen konnte. Als Beispiel mögen zwei Kurven (Fig. 18 und 19) dienen, die einem Versuche vom 13. November 1908 entnommen sind.

Aus diesen beiden Kurven ist ohne weiteres zu ersehen, dass bei schnellerer Bewegung des Vorbildes auch die Geschwindigkeit des Nachbildes grösser war. Ganz gewaltig aber war der Unterschied in der Dauer des Bewegungsnachbildes.

Wieviel Zeit verstreicht, bis das Bewegungsnachbild entsteht?

Borschke und Heschel¹⁾ sahen der Bewegung des Nachbildes eine „sehr kurze und nicht ganz konstante Phase“ vorausgehen, „in der das Nachbild sich gleichsam zu rühren anfing.“ Cords und v. Brücke²⁾ heben im Gegensatz dazu hervor, dass bei starkem Überwiegen der Scheinbewegung sich das Nachbild sofort bewegte.

1) A. Borschke und L. Heschel, l. c. S. 391.

2) R. Cords und E. Th. v. Brücke, l. c. S. 63.

Fig. 19. Nachbild nach 20 Sek. Vorbildgeschwindigkeit 27 mm = 5 Grad in der Sekunde. Dünne Streifen. Zeitmarken = Sekunden. Geschwindigkeit des Nachbildes in der ersten Sekunde 4 mm in der Sekunde. Dauer etwa 37 Sek. (Die Kurve ist nicht vollständig wieder gegeben. Das letzte Stück ist abgebrochen.)

Auch ich hatte stets den Eindruck, dass nach Aufhören der wirklichen Bewegung sofort die entgegengesetzte einsetzte.

Um nun den Beginn des Nachbildes gewissermaassen zahlenmässig bestimmen zu können, suchte ich den Moment, in welchem ich zuerst das Nachbild wahrnahm, auf der bewegten Kymographiontrommel zu registrieren unter einer Marke, welche durch das Aufhören der ursprünglichen Bewegung gesetzt wurde. Dazu traf ich folgende Anordnung.

Das Uhrwerk, welches die als Vorbild dienende Trommel bewegte, war so mit einer Mareyschen Aufnahmetrommel verbunden, dass in dem Augenblicke, in welchem das Werk stehen blieb, ein Zug auf die Mareysche Kapsel ausgeübt wurde. Dadurch schrieb eine Schreibtrommel, welche mit der ersteren durch einen Schlauch in Verbindung stand, eine Marke auf die Kymographiontrommel *H* (Fig. 1 S. 147). Die Versuchsperson, welche wie immer vor dem Ausschnitt *B* sass, machte, sowie die Bewegung in entgegengesetzter Richtung auftrat, ein Zeichen mit der Stange *C* (Fig. 1 S. 147).

Eine der auf diese Weise gewonnenen Kurven (Fig. 20) sei als Beispiel wiedergegeben.

In der Regel waren $\frac{4}{5}$ Sekunden verzeichnet, ehe das Bewegungsnachbild einsetzte. Wenn dieser Wert auch bei allen Beobachtungen ziemlich konstant blieb, so dürfte er doch zu gross sein. Denn trotz aller Mühe, die ich mir gab, möglichst sofort nach Einsetzen des Bewegungsnachbildes die Stange zu verschieben, hatte ich immer die Empfindung, zu spät zu reagieren. Diese Ungenauigkeit ist verständlich, wenn man bedenkt, wie schwer es ist, bei Bestimmung der Reaktionszeit einigermaassen zuverlässige Zahlen zu erhalten, wobei doch viel ausgesprochenere Reize verwendet werden, als das Entstehen eines Bewegungsnachbildes.

Genau genommen müsste von der gefundenen Zeit von $\frac{4}{5}$ Sekunden noch diejenige Zeit abgezogen werden, die auf Konto der Reizleitung zu setzen ist.

Wenn ich mit dieser Versuchsreihe nachgewiesen habe, dass die Zeit von dem Aufhören der Bewegung bis zum Anfang des Bewegungsnachbildes jedenfalls nicht grösser, sicher aber kleiner war als $\frac{4}{5}$ Sekunden, so glaubte ich, mich mit der Bestimmung der oberen Grenze zufrieden geben zu müssen.

Ein positives Bewegungsnachbild, wie es Engelmann¹⁾ und Stern²⁾ beobachteten, konnte ich, wie auch zu erwarten war, bei meinen Versuchen nie wahrnehmen.

Fig. 20. Oberste Linie = Kurve der Marey'schen Trommel. Der Aufstieg bezeichnet den Moment, in welchem die Bewegung des Vorbildes aufhört. Mittlere Linie = Kurve der Stange C (Fig. 1 S. 147). Das Sinken der Kurve bedeutet den Anfang des Nachbildes. Unterste Linie Zeitmarken = $\frac{1}{5}$ Sek.

Versuche mit Kompensation der Bewegung.

Bei meinen Versuchen schwankte die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes bei einer Vorbildgeschwindigkeit von ungefähr 57 Winkelminuten zwischen 23 und 46 Winkelminuten in der Sekunde. Cords und v. Brücke³⁾ dagegen fanden bei der viel grösseren Vorbildgeschwindigkeit von rund 3 Grad nach einer ihrer Tabellen Ge-

1) Th. W. Engelmann, Über Scheinbewegung in Nachbildern. Jenaische Zeitschrift f. Medizin und Naturwissenschaft Bd. 3 S. 443. 1867.

2) W. Stern, Die Wahrnehmung von Bewegungen vermittelt des Auges. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane Bd. 7 S. 321 (334 u. 350).

3) R. Cords und E. Th. v. Brücke, Über die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes. Pflüger's Arch. Bd. 119 S. 54 (62). 1907.

geschwindigkeiten zwischen 9 Minuten 48 Sekunden und 18 Minuten 40 Sekunden in der Zeitsekunde.

Als Ursache für diese Abweichung kommen mehrere Faktoren in Betracht. Einmal sind die Beobachtungen von verschiedenen Versuchspersonen nicht ohne weiteres zu vergleichen (S. 152). Sodann ist es nicht gleichgültig, wie dick die Striche sind, welche als Vorbild dienen, und wie weit sie voneinander abstehen (S. 162). Ferner hat die Grösse der bewegten Fläche einen grossen Einfluss auf die Geschwindigkeit der Nachbildbewegung (S. 159). Selbstverständlich sind alle diese Einzelheiten bei verschiedenen Untersuchungen nie gleich.

Aber alle diese Momente dürften nicht ausreichen, um den so auffallenden und stets wiederkehrenden Unterschied zu erklären. Meine bisher mitgeteilten Untersuchungen unterscheiden sich nämlich hinsichtlich der Art, wie sie vorgenommen wurden, wesentlich von den in früherer Zeit ausgeführten, und darin sehe ich die Hauptursache für die etwas abweichenden Ergebnisse.

Die älteren Autoren begnügten sich damit, den Verlauf des Bewegungsnachbildes aus der Erinnerung zu beschreiben.

Borschke und Hescheles beurteilten die Geschwindigkeit der Nachbildbewegung dadurch, dass sie durch eine senkrecht dazu verlaufende in ihrer Richtung geändert wurde.

Cords und v. Brücke kompensierten das Bewegungsnachbild durch eine demselben entgegengerichtete Bewegung.

Meine bisher mitgeteilten Kurven dagegen verzeichnen direkt den gewonnenen Eindruck. Um nun meine Art der Beobachtung auch mit derjenigen von Cords und v. Brücke in Einklang zu bringen, brachte ich eine kleine Abänderung an der Versuchsanordnung an, welche es gestattet, die scheinbare Bewegung durch eine wirkliche zu kompensieren und gleichzeitig die Geschwindigkeit der zur Kompensation nötigen wirklichen Bewegung in jedem Zeitmoment zu registrieren.

Die Anordnung bestand in folgendem:

An der Stange *C* der Versuchseinrichtung Fig. 1 (S. 147) wurde eine Muffe *M* (auf nebenstehender Skizze Fig. 21) angebracht, welche einen rechtwinkligen 11 cm breiten und 6 cm hohen Karton *NN* (punktiert gezeichnet) an einer Stange nach oben gerichtet trug. Derselbe war mit Millimeterpapier überklebt und liess sich zugleich mit der Stange *C* in den beiden Hülzen *D* und *E* verschieben. Die

ganze Anordnung war überdeckt von einem etwa 9 cm hohen Streifen von schwarzem Karton *OO* mit einem rechteckigen 3 cm hohen und 5 cm breiten Ausschnitt *P*, über den in der gleichen Weise wie bei dem Ausschnitt *B* ein Seidenfaden mit einer Wachserle als Fixierzeichen ausgespannt war. Der Karton *OO* musste natürlich, damit der Schirm *NN* bequem darunter verschoben werden konnte, etwa 1 cm von der Unterlage abstehen.

Fig. 21.

Die Versuchsperson erhielt jetzt die Aufgabe, sobald die Bewegung hinter der Öffnung *B* aufhörte, auf das Fixierzeichen in dem Ausschnitte *P* zu sehen und den mit dem Millimeterpapier überklebten Schirm *NN* so zu verschieben, dass seine scheinbare Bewegung gerade kompensiert wurde. Gleichzeitig schrieb die Schreibspitze *F* (Fig. 1, S. 147) auf der rotierenden Kymographiontrommel *H* ihre Bewegung auf.

Die so erhaltene Kurve gab die Bewegung wieder, welche nötig war, um das Bewegungsnachbild zu jeder Zeit während seines Ablaufes zu kompensieren. Sie musste also der früher gezeichneten scheinbaren Bewegung des Nachbildes entgegengerichtet sein, jedoch im übrigen — wie zu erwarten war — mit ihr übereinstimmen.

Bei Ausführung dieser Untersuchungen war ich etwas enttäuscht, denn sobald ich nach dem Millimeterpapier sah, schien das Nachbild viel geringer, als wenn ich einfach die Trommel stehen liess und die Fläche betrachtete, die als Vorbild gedient hatte.

Im übrigen war der Ablauf vollkommen gleich und das, was ich in meinen früheren Versuchen gesehen hatte, liess sich ausnahmslos durch die neue Methode bestätigen.

Fig. 22. Die zur Kompensation des Nachbildes erforderliche Bewegung. Vorbilddauer 60 Sek. Geschwindigkeit des Vorbildes 5 mm = 57 Winkelminuten in der Sekunde. Dünne Streifen. Zeitmarken = Sekunden. Geschwindigkeit der Bewegung in der ersten Sekunde ungefähr 1,5 mm = 17 Winkelminuten. Dauer etwa 22 Sek.

Als Beispiel sei nebenstehende Kurve mitgeteilt.

Um die Blickbewegung von dem Ausschnitte *B* nach *P* zu vermeiden, hatte ich zuerst mit Hilfe einer um eine horizontale Achse drehbaren planparallelen Glasplatte eine Einrichtung getroffen, um je nach der Stellung der Platte einmal den Ausschnitt *B*, das andere Mal den Ausschnitt *P* an die gleiche Stelle des Gesichtsfeldes zu rücken. Auf diese Weise brauchte die Versuchsperson die Augen nicht zu bewegen.

Diese Einrichtung machte aber die ganze Anordnung wesentlich komplizierter, und die Beobachtung gestaltete sich, wie ich mich bald überzeugte, dadurch eher schwieriger, so dass ich bei Ausführung der mitgeteilten Versuche davon Abstand nahm. Die beiden Ausschnitte *B* und *P* sind auch nur 1 cm voneinander entfernt, so dass die Distanz der beiden Fixierzeichen 4 cm beträgt, was einem Sehwinkel von etwa $7^{\circ} 38'$ entspricht. Die Bewegungen der Augen blieben also in verhältnismässigen Grenzen.

Die in dieser Arbeit angewendete Art der Untersuchung bietet, wie ich glaube, den Vorteil, dass das Bewegungsnachbild sofort als Kurve aufgeschrieben und dadurch festgehalten wird.

Selbstverständlich bin ich weit davon entfernt, die Bedeutung einer derartigen Kurve, die ja auch nur eine subjektive Beurteilung wiedergibt, zu überschätzen; andererseits bewahrt man sich dadurch

leichter vor suggestiven Beeinflussungen, namentlich dann, wenn — wie ich es absichtlich stets gemacht habe — die Kurven erst verglichen werden, nachdem die Versuchsreihe abgeschlossen ist.

Wie gross der Einfluss von psychischen Prozessen gerade auf die Beurteilung des Bewegungsnachbildes ist, beweist die Beobachtung von Engelmann¹⁾, welcher in einem Eisenbahnwagen sitzend feststellen konnte, dass das Nachbild sogar seine Richtung änderte, je nach der Vorstellung, die er sich von der Fahrtrichtung des Zuges machte.

Versuch einer Erklärung der Bewegungsnachbilder.

Da das Bewegungsnachbild eine im höchsten Maasse merkwürdige Erscheinung darstellt, ist es nicht wunderbar, dass die meisten Autoren, welche das Bewegungsnachbild beobachteten, auch eine Erklärung dafür suchten. Die bisherigen Erklärungsversuche lassen sich einteilen in psychologische und physiologische.

Eine psychologische Begründung wird von Zöllner²⁾ mitgeteilt, der als Ursache für die Erscheinung eine Täuschung des Urteils annimmt. Zu einer ähnlichen Auffassung gelangt auch Budde³⁾.

Eine soche Erklärung kann selbstverständlich den Physiologen nie befriedigen. Die physiologischen Erklärungen sind unter sich auch wieder ausserordentlich verschieden.

Die naivste Auffassung ist die von Purkinje⁴⁾ und Helmholtz⁵⁾, welche annehmen, dass, solange eine Bewegung stattfindet, das Auge den einzelnen bewegten Teilen eine Strecke weit folgt. Dieses Gleitenlassen des Blickes gewöhnt man sich so sehr an, dass auch nach Aufhören der ursprünglichen Bewegung das Auge un-

1) Th. W. Engelmann, Über Scheinbewegung in Nachbildern. Jena'sche Zeitschrift für Medizin und Naturwissenschaft Bd. 3 S. 443 (444). 1867.

2) F. Zöllner, Über eine neue Art von Pseudoskopie und ihre Beziehungen zu den von Plateau und Oppel beschriebenen Bewegungsphänomenen. Poggen-dorff's Annalen d. Physik u. Chemie, 4. Reihe, Bd. 20 (110) S. 500 (512). 1860.

3) E. Budde, Über metakinetische Scheinbewegungen und über die Wahrnehmung der Bewegung. Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1884 S. 127 (144).

4) J. Purkinje, Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne Zweites Bändchen. Neue Beiträge zur Kenntnis des Sehens in subjektiver Hinsicht S. 60. Berlin 1825.

5) H. v. Helmholtz, Handb. d. physiol. Optik, 2. Aufl., S. 746. Hamburg u. Leipzig 1896.

bewusst nach der gleichen Richtung gedreht wird, so dass man die Empfindung hat, die Gegenstände bewegten sich rückwärts.

Diese Erklärung könnte aber nur in Betracht kommen, wenn die Bewegung ausschliesslich in einer Richtung vor sich geht, und wird deshalb schon durch den Plateau'schen¹⁾ Versuch widerlegt, bei welchem durch das Drehen einer Spirale um ihren Mittelpunkt die Empfindung hervorgerufen wird, als würden konzentrische Kreise immer grösser oder immer kleiner. Nach Aufhören der Bewegung scheinen die Kreise oder andere Objekte, auf die der Blick fällt, die entgegengesetzte Bewegung auszuführen. Dabei ist es natürlich ausgeschlossen, dass man der Bewegung nach allen Richtungen mit dem Blick folgt. Die Unrichtigkeit der Purkinje-Helmholtz'schen Auffassung wurde in vielen der späteren Arbeiten des langen und breiten bewiesen.

Wenn aber das Auge im ganzen der Bewegung nicht folgen kann, so könnten es wenigstens die einzelnen lichtempfindlichen Elemente tun. Diese Hypothese stellte auch Budde²⁾ neben seiner psychologischen auf. Während sich vor unserem Auge eine Bewegung vollzieht, nehmen nach dieser Hypothese die lichtempfindlichen Elemente der Netzhaut eine Schrägstellung ein. Dadurch wird der entsprechende Teil des Gesichtsfeldes scheinbar um einen gewissen Betrag verschoben. Sobald die objektive Bewegung aufhört, kehren die Elemente wieder zu ihrer normalen Stellung zurück, und diese Rückkehr bedingt das entgegengesetzte Bewegungsnachbild.

Zu der abenteuerlichsten Auffassung dürfte Zehfuss³⁾ gelangt sein, wenn er annimmt, dass durch die Beobachtung einer Bewegung ein reicherer Blutzufluss nach den durch dieselbe erregten Netzhaut-elementen stattfindet. Bei Aufhören der Bewegung strömt das Blut wieder zurück, und dadurch soll offenbar die Empfindung der rückläufigen Bewegung zustande kommen.

Nach Johannes Müller⁴⁾ erzeugen die einzelnen bewegten Elemente Nachbilder, die sich in der gleichen Richtung bewegen

1) J. Plateau, Vierte Notiz über neue, sonderbare Anwendungen des Verweilens der Eindrücke auf die Netzhaut. Poggendorff's Annalen d. Physik u. Chemie, dritte Reihe, Bd. 20 (80) S. 287 (289). 1850.

2) E. Budde, Über metakinetische Scheinbewegungen und über die Wahrnehmung der Bewegung. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1884 S. 127 (142).

3) G. Zehfuss, Über Bewegungsnachbilder. Annalen d. Physik u. Chemie N. F. Bd. 9 S. 672 (675). 1880.

4) J. Müller, Handb. d. Physiol. d. Menschen Bd. 2 S. 365. Koblenz 1840.

wie die ursprüngliche Bewegung, „indem sie der Reihe nach verschwinden, wie sie infolge der Bewegung entstanden“. Da diese nur schwach angedeuteten Nachbilder, die uns gar nicht zum Bewusstsein zu kommen brauchen, über die wirklichen Gegenstände sich hinwegbewegen, so scheinen die feststehenden Objekte in umgekehrter Richtung hinter denselben hindurchzugleiten. Zu einer ähnlichen Auffassung gelangten auch Wundt¹⁾ und Stern²⁾.

Hoppe³⁾ fasst das Bewegungsnachbild als Erholungserscheinung der stark ermüdeten Netzhaut auf und verweist das Phänomen „der Hauptsache nach in den Bereich der Nachbilderscheinungen“. Wenn er fortfährt: „Nach Beendigung der primären Bewegung treten sukzessiv Nachbilder der jüngst vergangenen Bewegungsphasen hervor, die der letzten zuerst, und ihre Summation erweckt die Vorstellung einer neuen Bewegung“, so will er damit offenbar eine Erklärung andeuten, ähnlich derjenigen, welche zuerst von Johannes Müller gegeben wurde.

Plateau⁴⁾ erklärt die Erscheinung nach seinem „Prinzip der Oszillationen der Eindrücke“. Wenn ein Organ einer längeren Erregung unterworfen wird, setzt es einen Widerstand entgegen. Hört der Reiz auf, dann sucht es seinen normalen Zustand wieder zu gewinnen, ähnlich einer Feder, die aus ihrer Gleichgewichtslage abgelenkt, diese wieder durch abnehmende Oszillationen zu erreichen sucht.

Wenn ich selbst versuche, die Bewegungsnachbilder einigermaßen verständlich zu machen, so gehe ich von dem zuerst von Exner⁵⁾ scharf betonten Gedanken aus, dass die Bewegungsempfindung im Gebiete der physiologischen Optik eine Empfindung *sui generis* darstellt.

1) W. Wundt, Grundzüge der physiologischen Psychologie, 4. Aufl., Bd. 2 S. 162. Leipzig 1893.

2) W. Stern, Die Wahrnehmung von Bewegungen vermittelt des Auges. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane Bd. 7 S. 321 (382). 1894.

3) J. Hoppe, Studie zur Erklärung gewisser Scheinbewegungen. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane Bd. 7 S. 29 (35). 1894.

4) J. Plateau, Vierte Notiz über neue sonderbare Anwendungen des Verweilens der Eindrücke auf die Netzhaut. Poggendorff's Annalen d. Physik. u. Chemie, dritte Reihe, Bd. 20 (80) S. 287 (291). 1850.

5) S. Exner, Über das Sehen von Bewegungen und die Theorie des zusammengesetzten Auges. Wiener Sitzungsberichte Bd. 72, dritte Abteilung, S. 156. 1875.

Das Bewegungsnachbild besteht darin, dass auf die Bewegung in einer bestimmten Richtung eine scheinbare Bewegung in entgegengesetzter Richtung folgt. Bei anderen Empfindungen kennen wir ganz analoge Erscheinungen, die wir als Sukzessivkontrast bezeichnen. Fixiert man z. B. eine in irgendeiner Farbe gemalte Figur einige Zeit und blickt dann auf eine indifferente Fläche, so sieht man dieselbe Figur in der Gegenfarbe auftauchen.

Die Gegenfarbe wird um so gesättigter und dauert um so länger, je länger wir die erste Farbe angesehen haben. Bei dem Bewegungsnachbild entspricht, um diesen Vergleich weiterzuführen, die Geschwindigkeit gewissermaßen der Sättigung; denn je länger man einen bewegten Gegenstand ansieht, um so schneller scheint sich das Nachbild zu bewegen und um so länger dauert die Empfindung.

Wir nehmen an, dass ganz allgemein jeder Vorgang im perzipierenden Gewebe eines Sinnesapparates als Folge einen entgegengesetzten bedingt. Deshalb liegt es am nächsten, diesen Prozess auch als Ursache für die Scheinbewegung an irgendeiner Stelle des die Gesichtsempfindungen vermittelnden nervösen Apparates sich vorzustellen.

Nun wissen wir aber, dass nicht nur nach Aufhören eines bestimmten Prozesses sich der entgegengesetzte einstellt, sondern auch gleichzeitig findet neben dem Gebiet, in welchem der eine Vorgang sich abspielt, der entgegengesetzte statt. Im Bereich der Optik bildet dieser Vorgang nach der Hering'schen Theorie die Ursache für den Simultankontrast.

Ein Simultankontrast ist bei der Bewegungsempfindung nicht so leicht nachzuweisen. Man zählt ja allerdings eine Menge von Erscheinungen auf, welche dem Simultankontrast nicht unähnlich sind. So weiss man z. B., wenn man in einem Eisenbahnzug sitzt, und wenn ein daneben stehender zu fahren beginnt, im ersten Augenblick nicht, ob der eigene oder der Nachbarzug fährt. Oder wenn man gegen die über einem Schornstein hinziehenden Wolken sieht, so hat man mitunter die Empfindung, dass nicht die Wolken sich bewegen, sondern der Schornstein.

Dabei folgt man den Wolken unwillkürlich mit dem Blick, gibt sich aber über die Bewegung der Augen keine Rechenschaft, und die konsequente Folge ist dann die, dass der Schornstein sich zu bewegen scheint. Es handelt sich demnach bei allen derartigen Erscheinungen zum grossen Teil um eine Trügung des Urteils.

Ich stellte zwar eine Reihe von Versuchen an, um den Simultan-
kontrast der Bewegungsempfindung unzweifelhaft wahrnehmen zu
können, aber bisher ohne sicheren Erfolg.

Jedenfalls gibt es aber einen Kontrast im Bewegungsnachbild
selbst. So führt v. Szily¹⁾ unter anderem folgenden Versuch an.
Wird vor dem Auge eine sehr grosse gestreifte Fläche bewegt, etwa
ein Stück gestreifter Kattun, und überdeckt man das zentrale Gebiet
mit einer Scheibe von 15—20 cm Durchmesser, in deren Zentrum
sich ein Fixierzeichen befindet, so sieht man als Nachbild in der
Peripherie eine der ursprünglichen entgegengesetzte Bewegung, an
der Stelle aber, welche durch die Scheibe verdeckt war, eine Be-
wegung in der Richtung des Vorbildes.

Kurze Zusammenfassung der Methoden und Ergebnisse.

1. Die Bewegungsnachbilder wurden mit einer Stange, welche
die Bewegung auf einer benachbarten Kymographiontrommel regi-
strierte, nachgefahren. Aus den auf diese Weise entstandenen Kurven
liessen sich verschiedene Tatsachen ermitteln.

2. Die Bewegungsnachbilder hatten zuerst eine ziemlich grosse
Geschwindigkeit, die allmählich immer geringer wurde, so dass zum
Schlusse die Kurve sich ausserordentlich langsam der Abszissen-
achse näherte.

3. Verschiedene Personen sahen die Bewegungsnachbilder ausser-
ordentlich voneinander abweichend, und zwar sowohl hinsichtlich der
Geschwindigkeit als auch namentlich der Dauer. Aber auch eine
und dieselbe Person sah zu verschiedenen Zeiten das Bewegungs-
nachbild gewöhnlich nicht gleich.

4. Je länger das Vorbild dauerte, um so schneller verlief das
Nachbild und um so länger dauerte dasselbe.

5. Im indirekten Sehen bedingte das gleiche Vorbild ein viel
schnelleres und auch länger dauerndes Nachbild als im direkten.

6. Je grösser die bewegte Fläche war in der Richtung, in welcher
die Bewegung erfolgte, im vorliegenden Falle von rechts nach links,
um so ausgesprochener war das Bewegungsnachbild.

1) A. v. Szily, Bewegungsnachbild und Bewegungskontrast. Zeitschr. f.
Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. Bd. 38 S. 81 (126). 1905, und Studium des
Bewegungsnachbildes. Zeitschr. f. Sinnesphysiol. Bd. 42 S. 109 (111). 1908.

7. Eine Veränderung der Grösse der bewegten Fläche in der Richtung, in welcher die Bewegung nicht erfolgte, im vorliegenden Falle von oben nach unten, hatte keinen Einfluss auf die Geschwindigkeit und Dauer des Bewegungsnachbildes.

8. Ein bewegtes Feld, welches durch schmale und engstehende schwarze Streifen auf weissem Grunde dargestellt war, erzeugte ein viel stärkeres Bewegungsnachbild als ein aus breiten und weit-entfernten Streifen bestehendes.

9. Eine als Vorbild dienende schnell verlaufende Bewegung erzeugte ebenfalls ein bei weitem schnelleres und ausserordentlich viel länger dauerndes Nachbild als eine langsam verlaufende Bewegung.

10. Die Zeit zwischen dem Aufhören der als Vorbild dienenden Bewegung und dem Einsetzen des Nachbildes war sicher kürzer als $\frac{4}{5}$ Sek.

11. Zum Schlusse wurde durch eine geeignete Versuchsanordnung die objektive Bewegung registriert, welche nötig war, um die scheinbare Bewegung des Nachbildes während seines ganzen Verlaufes zu kompensieren.

12. Bei dieser Art der Untersuchung war infolge der Versuchsanordnung das Nachbild weniger stark ausgesprochen. Im übrigen liessen sich aber alle früheren Ergebnisse auch mit dieser Methode bestätigen.