(Aus dem physiologischen Institut der Universität Leipzig.)

Über die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes.

Von

Dr. med. **R. Cords** und Dr. med. **E. Th. v. Brücke.**

(Mit 4 Textfiguren.)

Trotz der zahlreichen und eingehenden Untersuchungen, die über das sogenannte Bewegungsnachbild, d. h. die nach dem Anblicke bewegter Objekte auftretende entgegengesetzt gerichtete Scheinbewegung ruhender Objekte, angestellt wurden, sind unsere Kenntnisse über den Ablauf dieses interessanten Phänomens in mancher Beziehung noch sehr mangelhaft. So bildet es z. B. eine Lücke in unseren Kenntnissen, dass bisher in der Literatur nur eine ganz kurze Angabe (Bудde 1878) über die absolute Geschwindigkeit dieser Scheinbewegung zu finden ist. Dies dürfte sich wohl aus dem Umstande erklären, dass eine blossе Schätzung einer Geschwindigkeit besonders im sukzessiven Vergleiche grosse Schwierigkeiten bereitet, und dass es andererseits den auf diesem Gebiete tätigen Forschern an einer Methode fehlte, welche eine Bestimmung der absoluten Geschwindigkeit in unserem Falle erlaubte; wurde doch sogar in jüngster Zeit die Möglichkeit einer solchen Bestimmung überhaupt geleugnet; denn von Szily¹⁾ schreibt in der Zusammenfassung seiner ausgedehnten Studien über das Bewegungsnachbild und den Bewegungskontrast: „Hier muss auf die Unmöglichkeit hingewiesen werden, den Grad einer Geschwindigkeit zu bestimmen, wo die Gegenstände scheinbar in einer Bewegung begriffen sind und sich dennoch nicht vom Platze rühren.“ (l. c. S. 148.)

Wir glauben eine Methode ausfindig gemacht zu haben, die eine derartige Bestimmung doch mit genügender Genauigkeit ermöglicht,

---

1) A. v. Szily, Bewegungsnachbild und Bewegungskontrast. Zeitschr. f. Psychol. und Physiol. der Sinnesorgane Bd. 38 S. 81. 1905.

und suchten mit ihr durch eine Reihe im folgenden mitzuteilender Versuche die absolute Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes unter einigen Bedingungen festzustellen.

Auch über die relative Geschwindigkeit dieser Scheinbewegung liegt nur eine eingehendere Arbeit von Borschke und Heschels¹⁾ vor. Diese Autoren gingen bei ihren Versuchen von der Beobachtung Exner's aus, dass zwei unter rechtem Winkel gekreuzte Liniensysteme, die sich gleichzeitig senkrecht zueinander mit gleicher Geschwindigkeit bewegen, ein Bewegungsnachbild hervorrufen, dessen Richtung in der Diagonalen jener beiden Bewegungsrichtungen liegt. Wenn nun unter gewissen Versuchsbedingungen eines dieser Liniensysteme ein rascheres Bewegungsnachbild erzeugt als das andere, so war zu erwarten, dass sich dies in einer Veränderung der Richtung der aus den beiden Bewegungsnachbildern kombinierten Scheinbewegung äussern würde. Da diese Annahme zutraf, gewannen die Autoren aus der Richtung des Bewegungsnachbildes ein Maass für das Verhältnis der Geschwindigkeiten der von je einem der Liniensysteme hervorgerufenen Bewegungsnachbilder. Borschke und Heschels untersuchten mittels dieser Methode die Abhängigkeit der Nachbildgeschwindigkeit von der Geschwindigkeit des Vorbildes, von der Zahl der in der Zeiteinheit eine Netzhautstelle passierenden Konturen, von deren Deutlichkeit und von der Beobachtungsdauer der Bewegung des Vorbildes. Aus der Beobachtung, dass die Richtung der Scheinbewegung stets in der Diagonale des Geschwindigkeitsparallelogrammes der beiden Vorbildbewegungen lag, schlossen die Verfasser, dass die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes der des Vorbildes direkt proportional sei; nur wenn die eine Vorbildbewegung so beschleunigt wurde, dass die Konturen der bewegten Stäbe zu verschwinden begannen, so nahm die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes wieder ab. Ferner fanden diese Autoren, dass seine Geschwindigkeit mit der Zahl der Reize in der Zeiteinheit, mit der Deutlichkeit der Konturen des Vorbildes und der Beobachtungsdauer der Bewegung zunahm.

Gegen diese Versuche wurden in jüngster Zeit von A. v. Szily Einwände erhoben. Dieser Forscher schreibt bei der Besprechung der Versuche von Borschke und Heschels folgendes: „Wenn

---

1) Borschke und Heschels, Über Bewegungsnachbilder. Zeitschr. f. Psychol. und Physiol. der Sinnesorgane Bd. 27 S. 321. 1902.

ich vorschriftsmässig durch einen Ausschnitt zwei einander im rechten Winkel schneidende parallele Stabsysteme betrachte, die beide senkrecht auf die Richtung der Linien bewegt werden, erhalte ich den Eindruck einer neuen Bewegung, die durch die Schnittpunkte und die sie verbindenden Liniensegmente vollzogen wird. Die Richtung dieser Scheinbewegung hängt ab einerseits von den Linienabständen der zusammenwirkenden Systeme, andererseits von der relativen Bewegungsgeschwindigkeit derselben. Die Bewegung ist in Wirklichkeit eine kombinierte, aber der Bewegungseindruck selbst ist ein einfacher, und diesem allein entspricht das Bewegungsnachbild. Nichts vermag zu beweisen, dass auch dieses, ebenso wie die Scheinbewegung der Liniensysteme, erst aus der Kombination zweier, den objektiven Bewegungskomponenten entsprechenden, senkrecht zueinander verlaufenden Bewegungsnachbildern zustande komme, wie es Borschke und Heschel es annahmen. Wenn aber diese Annahme unbegründet ist, dann sind es auch die Schlüsse, die aus den an sich korrekten Beobachtungen auf die Geschwindigkeit des Nachbildes gezogen werden. Dies gilt namentlich von dem Satze, dass die Geschwindigkeit des Nachbildes der des Vorbildes proportional sei.“ Vor allem lässt folgender Versuch von Szily's diese Kritik gerechtfertigt erscheinen: Eine durch Wanderung der Schnittpunkte vorgetäuschte Bewegung kann auch durch Verschiebung eines einzigen Liniensystems hinter einem zweiten schräg zu ihm gerichteten, ruhenden Liniensystem hervorgerufen werden, und auch in diesem Falle ist die Richtung des Nachbildes der Bewegung nicht etwa, wie es die Annahme von Borschke und Heschel es erfordern würde, der des Vorbildes, sondern, wie auch wir uns überzeugten, der Scheinbewegung der Schnittpunkte entgegengesetzt. Wenn demnach auch zugegeben werden muss, dass die von Borschke und Heschel es angewandte Methode wenigstens für die Versuche, bei denen es sich um eine Geschwindigkeitsdifferenz der beiden Stabsysteme im Vorbilde handelte, nicht einwandfrei war, so scheint sie uns doch nicht vollkommen wertlos zu sein. Wie die genannten Autoren auch selbst ausführen (S. 391), geben die beiden sich kreuzenden Liniensysteme bei ihrer Bewegung keineswegs immer eine scheinbare Verschiebung eines quadratischen Gitters in der Richtung der Diagonale des Geschwindigkeitsparallelogrammes, sondern man sieht auch gelegentlich „gleichzeitig die beiden Stabsysteme in ihrer wirklichen Bewegung oder nach Art eines ‚Wettstreites

der Sehfelder, ein Stabsystem in seiner Bewegung, während das andere der Aufmerksamkeit mehr oder weniger entzogen ist.“ Wenn ausschliesslich die Richtung der Scheinbewegung der Schnittpunkte für die Richtung des Bewegungsnachbildes maassgebend wäre, so bliebe es völlig unverständlich, wieso Borschke und Hescheles eine Änderung der Nachbildrichtung beobachten konnten unter Versuchsbedingungen, welche die Richtung der Scheinbewegung der Schnittpunkte nicht änderten, wie z. B. bei Variation der Beobachtungsdauer und der Deutlichkeit der Konturen des einen Liniensystems, wobei im voraus erwähnt sei, dass unsere auf ganz verschiedenem Wege gewonnenen Resultate mit denen der genannten Autoren gut übereinstimmen. Für die Annahme, dass sich die beiden Bewegungsnachbilder kombinieren können, scheint uns auch folgende Beobachtung von Borschke und Hescheles zu sprechen: Lässt man ein rechtwinkliges Gitter sich in der Richtung der Halbierungslinie des rechten Winkels so bewegen, dass das eine Stabsystem stets vertikal bleibt, so zeigt das Bewegungsnachbild Schwankungen in seiner Richtung, die sich, wie auch Borschke und Hescheles annehmen, wohl nur durch eine Art Wettstreit der durch die beiden Stabsysteme hervorgerufenen Bewegungsnachbilder erklären lassen.

Weiter fährt v. Szily in seiner Kritik fort; „Vor allem behaupte ich, dass für die wissenschaftliche Behandlung nicht die Geschwindigkeit der Scheinbewegung sondern die Intensität des jeweiligen Bewegungsnachbildes in Betrachtung kommt.“ Leider ist es uns kaum möglich, auf diese Ansicht näher einzugehen, da es uns unverständlich ist, was hier unter Intensität eines Bewegungsnachbildes verstanden werden soll. In der Zusammenfassung der Ergebnisse schreibt v. Szily nochmals: „Was am Bewegungsnachbilde als seine Geschwindigkeit imponiert, ist seine Intensität.“ (1. c. S. 148.) Wenn Intensität hier etwa so viel wie Deutlichkeit heissen sollte, so wäre nach unseren Beobachtungen der Satz in umgekehrter Fassung richtiger; denn das Bewegungsnachbild erschien uns immer um so deutlicher, je rascher es verlief, so dass wir eher sagen könnten: was als Deutlichkeit des Bewegungsnachbildes imponiert, ist seine Geschwindigkeit.

Methode.

Seit langem¹⁾ ist bekannt, dass durch ein genügend schnelles Bewegungsnachbild eine objektive Bewegung in verschiedener Weise beeinflusst werden kann; so wird z. B. durch das Bewegungsnachbild eine in entgegengesetzter Richtung verlaufende Bewegung verzögert. Hierbei sei auch an die Beobachtung Exner's²⁾ erinnert, dass zwei je einem Auge zugehörige entgegengesetzt gerichtete Bewegungsnachbilder sich gegenseitig schwächen oder völlig aufheben.

Bei unseren Versuchen gingen wir von dem Gedanken aus, die Scheinbewegung, die an einem Objekte bei der Betrachtung mit einer zuvor durch bewegte Konturen gereizten Netzhaut auftritt, durch eine entgegengesetzt gerichtete Bewegung des Objektes zu kompensieren. Es kam uns also darauf an, über zwei entgegengesetzte, voneinander unabhängige und beliebig variable Bewegungen zu verfügen, die unmittelbar hintereinander derselben Netzhautstelle geboten werden konnten. In den einzelnen Versuchsreihen war die Geschwindigkeit der Bewegung des Vorbildes immer dieselbe, während die Geschwindigkeit des nachher betrachteten Objektes beliebig variiert wurde.

Die Versuchsanordnung wurde in folgender Weise eingerichtet: Zwei senkrecht stehende Kymographiontrommeln (A und A_1 , s. Fig. 1) wurden durch eine 14 cm breite Papierschleife (a) verbunden, auf der in ihrer ganzen Länge auf weissem Grunde schwarze, vertikal stehende, parallele Streifen von 0,5 cm Breite und Abstand angebracht waren. Zwei weitere, gleichfalls mit einer Papierschleife (b) bespannte Kymographiontrommeln (B und B_1) waren zu den beiden erstgenannten so orientiert, das die beiden Schleifen miteinander einen Winkel von 90° einschlossen. Die Konturen der Schleife a dienten zur Erzeugung des Bewegungsnachbildes, die der Schleife b zu ihrer Kompensierung. In der Halbierungslinie des von a und b eingeschlossenen Winkels stand ein kleiner senkrechter belegter Spiegel (Sp), der mit der spiegelnden Fläche nach der Schleife b zu gerichtet war. Dieser Spiegel war

---

1) Kleiner, Physiologische Beobachtungen über Scheinbewegungen. Pflüger's Arch. Bd. 18 S. 173. 1878.

2) S. Exner, Einige Beobachtungen über Bewegungsnachbilder. Zentralblatt für Physiologie Bd. 1 S. 136. 1888.

an dem beweglichen Arme eines schweren Statives so befestigt, dass er frei um eine vertikale Achse gedreht werden konnte und in der oben angegebenen Stellung einen Anschlag (C) fand. Vor den beiden Papierflächen waren zwei weisse Kartons (K und K_1) befestigt, die mit je einem gleich grossen Ausschnitte versehen waren, im übrigen aber die Schleifen vollkommen verdeckten. Bei Beobachtung im direkten Sehen diente als Fixationspunkt eine kleine Perle, die im Zentrum eines jeden Beobachtungsfeldes an einem

Fig. 1.

über den Ausschnitt gespannten Kokonfaden befestigt war. Der Beobachter sass gegen eine Stirnstütze gelehnt der Vorbildfläche gegenüber, so dass sich sein rechtes Auge — mit diesem wurde immer beobachtet — 54 cm vor derselben befand. Die einzelnen Teile der Versuchsanordnung waren stets so zueinander gerichtet, dass nach Vorlegen des Spiegels das Feld, auf dem das Bewegungsnachbild beobachtet wurde, dem Auge an derselben Stelle erschien, an der vorher das Feld mit dem bewegten Vorbilde gelegen hatte. Je zwei zusammengehörige Trommeln wurden durch einen Elektromotor in Bewegung gesetzt, dessen Umdrehungsgeschwindigkeit durch einen nebengeschalteten Drahtwiderstand in feiner Weise abgestuft

werden konnte. Ausgiebigere Geschwindigkeitsänderungen wurden mittels zweier zwischen Motor und Trommel eingefügter Stufenscheiben bewerkstelligt.

Als Grund, auf dem das Nachbild abklang (Schleife *b*) — wir wollen ihn kurz als Nachbildgrund bezeichnen — diente bei den meisten Versuchen blaues Millimeterpapier, und nur bei den ersten Versuchen beobachteten wir das Nachbild auf einem dem Vorbilde analog weiss und schwarz gestreiften Grunde. Das Millimeterpapier eignet sich wegen seiner zahlreichen, dabei aber wenig auffdringlichen Konturen zu diesem Zwecke sehr gut¹⁾.

Der Gang eines Versuches war folgender: Nachdem das Vorbild auf eine bestimmte Geschwindigkeit eingestellt worden war, öffnete der Beobachter auf ein Kommandowort das rechte Auge und fixierte streng die Perle in der Mitte des die bewegten Konturen zeigenden Feldes oder in einzelnen Versuchen einen peripher auf dem Karton angebrachten Fixationspunkt. Im allgemeinen haben wir beobachtet, dass wir nur bei den ersten Versuchen öfters unwillkürlich mit dem Blicke folgten, während uns nach einigen Versuchsreihen die Fixation der Perle keine Schwierigkeit mehr bereitete²⁾. Nach Ablauf einer bestimmten

---

1) Dass die Bewegung des Nachbildes durch deutliche Konturen der Empfangsfläche stark verzögert wird, konnten wir wiederholt beobachten; so sahen wir mehrmals bei zu langsamer objektiver Bewegung dieser Fläche die feinen Millimeterstriche sich in der Richtung der Scheinbewegung verschieben, während die dickeren jeden Zentimeter abgrenzenden Striche in der Richtung ihrer wirklichen Bewegung fortschritten. Wenn zufällig der Kartonschirm etwas zu weit von dem Millimeterpapiere abstand, so dass der Schlagschatten seines Randes einen Teil des Beobachtungsfeldes verdunkelte, so beobachteten wir sehr häufig, dass die auf dem beschatteten Teile weniger deutlich hervortretenden Konturen sich noch in der Richtung der Scheinbewegung fortbewegten, während auf dem gut beleuchteten Teile des Feldes die objektive Bewegung der Konturen über die Scheinbewegung den Sieg davontrug. Dieser Umstand, dass nämlich das Bewegungsnachbild je nach dem Grunde, auf dem es erscheint, verschiedene Geschwindigkeit besitzt, macht es natürlich unmöglich, allgemein gültige Werte für seine absolute Geschwindigkeit festzusetzen; wohl aber lässt sich mit unserer Methode seine jeweilige Geschwindigkeit auf einem bestimmt gewählten Grunde messen. Die im folgenden mitgeteilten Werte der absoluten Geschwindigkeit gelten demnach nur für den speziellen Fall, dass das Bewegungsnachbild auf einem hierfür besonders geeigneten Grunde, dem zart und dicht konturierten Millimeterpapiere, abklingt.

2) Einen Anhaltspunkt für die Strenge der Fixation hatten wir daran, dass die Konturen der bewegten Streifen während der ganzen Beobachtungsdauer gleich-

Zeit — mit Ausnahme einer Versuchsreihe 20 Sekunden — legte der Versuchsleiter so schnell wie möglich den Spiegel vor, so dass jetzt an die Stelle des Vorbildes der sich bewegende Nachbildgrund mit gleich gelegenen Fixationspunkte trat. Da der Motor, den wir zum Antrieb des zweiten Kymographions benutzten, besonders bei langsamem Gang nicht mit konstanter Geschwindigkeit lief, bestimmte der Versuchsleiter bei jedem einzelnen Versuche sofort nach Umlegen des Spiegels, also während die Versuchsperson ihr Urteil bildete, die Geschwindigkeit des Nachbildgrundes mittels eines Chronometers. Geurteilt wurde stets nach dem ersten Eindruck. Da sich das Millimeterpapier im Spiegelbilde nach links bewegte, lautete das Urteil bei Überwiegen des Bewegungsnachbildes: „nach rechts“, bei Überwiegen der Geschwindigkeit des Nachbildgrundes: „nach links“. Bei derjenigen Geschwindigkeit des Nachbildgrundes, die durch die Geschwindigkeit der Scheinbewegung ungefähr kompensiert wurde, war das Urteil in den meisten Fällen schwankend, d. h. es wurde einmal „nach rechts“, ein anderes Mal wieder „nach links“ geurteilt. In vielen Fällen schien aber innerhalb dieses Grenzgebietes die Richtung der Bewegung selbst zu schwanken; wir sahen dann die Striche des Koordinatenpapiere abwechselnd einen Moment sich nach rechts bewegen, dann wieder eine Umkehr der Bewegung nach links, mitunter auch einen kurzen Stillstand, während ein länger dauernder Stillstand äusserst selten zu beobachten war. Dieser letzterwähnte Umstand rührt offenbar daher, dass das Nachbild im wesentlichen eine gleichförmig verzögerte oder ungleichförmige (Phasenbildung) Bewegung ausführt, während der Nachbildgrund sich gleichförmig fortbewegt; er können demnach diese beiden entgegengesetzt gerichteten Bewegungen theoretisch nur in einem Moment mit gleicher Geschwindigkeit vor sich gehen. Sehr oft wurde innerhalb dieses zweifelhaften Gebietes auch das Urteil „fraglich“ abgegeben.

Die jeweiligen Urteile wurden protokolliert und graphisch registriert (s. u. S. 71 ff.) und so das Gebiet bestimmt, welches zwischen den sicher als „nach rechts“ und sicher als „nach links“ bezeichneten Werten lag. Der Mittelwert des auf diese Weise gewonnenen Grenzgebietes wurde als angenäherter Wert der Geschwindigkeit des Be-

---

mässig verwaschen erschienen, was innerhalb eines bestimmten Geschwindigkeitsbereiches nur dann möglich ist, wenn der Beobachter ihnen mit dem Blicke nicht folgt. Auch das immer wieder beobachtete Verschwinden seitlich gelegener Sehdinge durch Lokaladaptation spricht für die Strenge der Fixation.

wegungsnachbildes angenommen. Die Ausdehnung dieses Gebietes war bei den einzelnen Versuchen sehr verschieden. Es erstreckte sich durchschnittlich über einen Geschwindigkeitsbereich dessen Grenzgeschwindigkeiten sich etwa wie 9:10 verhielten, so dass also die Fehlerbreite der Bestimmungen im Mittel 10 % betrug. Mehrmals beobachteten wir an verschiedenen Versuchstagen unter sonst gleichen Bedingungen (speziell auch gleicher Beleuchtung) Differenzen zwischen den gefundenen Geschwindigkeiten, die sicher ausserhalb der Fehlergrenzen lagen. Es dürfte sich dabei wohl um irgendwelche subjektiven Momente handeln, zumal da sich zwischen den beiden Versuchspersonen in sofort hintereinander unter gleichen Bedingungen angestellten Versuchen zuweilen erhebliche Unterschiede fanden ¹⁾. So fanden wir bei einer Anzahl Versuchsreihen, die wir unter sonst gleichen Bedingungen mit 0,3 cm breiten Streifen und 3,0 cm-sek⁻¹ (= 3° 10' 50" in der Sekunde) Vorbildgeschwindigkeit bei zentraler Fixation anstellten, an verschiedenen Tage folgende Grenzgebiete (s. Tab. I):

Tabelle 1.

Streifenbreite 0,3 cm. $v_1 = 3,0 \text{ cm-sek}^{-1} = 3^\circ 10' 47''$ in der Sekunde.

Ver- suchs- person	Datum	Beleuchtung	Grenzgebiet der Nachbild- geschwindigkeiten in der Sekunde
B	13. April	sonniger Tag, 10 ^h 50'—12 ^h 15'	0° 10' 57"—0° 12' 13"
B	14. April	sonniger Tag, 9 ^h 30'—10 ^h 05'	0° 9' 48"—0° 10' 57"
B	16. April	trüber Tag, 11 ^h 15'—11 ^h 55'	0° 14' 50"—0° 17' 11"
C	15. April	wechselnde Bewölkung, doch meist sonnig 11 ^h 0'—12 ^h 0'	0° 13' 50"—0° 18' 40"
C	18. April	heller, doch nicht sonniger Tag, gegen 11 ^h	0° 15' 55"—0° 17' 38"

In einer Versuchsreihe wurden durchschnittlich 20 (nie weniger als 10) Urteile abgegeben; die grösste Versuchszahl einer Reihe betrug 48; es hing dies ganz von der mehr oder weniger grossen Schwierigkeit ab, das Grenzgebiet festzulegen. Die Versuche wurden alle in den Vormittagsstunden bei Tageslicht ausgeführt. Stets erforderten dieselben die grösste Aufmerksamkeit der Versuchspersonen. Da wir ferner den Eindruck gewannen, dass die Beurteilung der Richtung der Bewegungsnachbilder im Laufe der Versuche sicherer

1) Vgl. hierzu die Angabe v. Szily's (l. c. S. 116), der darauf aufmerksam macht, „dass das ermüdete wie das dunkel adaptierte Auge für Bewegungsnachbilder in erhöhtem Maasse suszeptibel“ sei.

wurde, so verzichteten wir darauf, ausser uns beiden noch andere Versuchspersonen heranzuziehen. Bei den ersten Versuchen, die wir überhaupt anstellten, kam es zuweilen vor, dass im ersten Moment nach dem Umlegen des Spiegels die Bewegung falsch oder unsicher beurteilt wurde. Es beruhte dies offenbar darauf, dass der Fixationspunkt nicht sofort erfasst wurde und vorher stärkere Augenbewegungen ausgeführt wurden. Wir sahen daher bei der Abgabe des Urteils immer von diesem allerersten Momente ab, dessen Dauer wir etwa auf eine Viertel- bis eine halbe Sekunde schätzen.

Es dürfte zweckmässig sein, hier kurz auf unsere Beobachtungen über das Abklingen des Nachbildes einzugehen. Eine kurze anfängliche Phase des Stillstandes, wie sie Borschke und Heschels zuweilen beobachteten, konnten wir, abgesehen von den eben erwähnten Versuchen, bei denen es sich wohl um eine Fehlerquelle handelte, nicht bemerken. Im Gegenteil bewegte sich bei starkem Überwiegen der Scheinbewegung der Nachbildgrund sofort schnell in der betreffenden Richtung (nach rechts). In dem Abklingen des Bewegungsnachbildes zeigten sich mannigfache Besonderheiten. Sehr häufig beobachteten wir, 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 usf. Dieses Spiel konnte sich 5—6 mal wiederholen. Es kam hierdurch eine ruckweise Bewegung zustande, und zwar bewegten sich bei Überwiegen der Scheinbewegung die Konturen ruckweise nach rechts, oder beim Überwiegen der objektiven Bewegung des Nachbildgrundes ruckweise nach links; in letzterem Falle entsprach jeder Stillstand einem Anwachsen, jeder Ruck nach links einer Verzögerung der Nachbildgeschwindigkeit. Verliefe die Bewegung ruckweise nach rechts, so wurde sie als „nach rechts“ protokolliert, verlief sie dagegen mit ruckweisem Stillstand nach links, so wurde der Wert als „still“ in das fragliche Gebiet einbezogen. Auf dieses Abklingen in Phasen machte zuerst Thompson¹⁾ bei Beobachtung des Nachbildes Plateau'scher Spiralen, dann fast zur selben Zeit Tschermak²⁾

1) Thompson, Silvanus P. Optical Illusions of Motion. Brain III S. 239. Oktober 1880. Er spricht von „discontinuous jumps“.

2) Tschermak, Zur Physiologie des Gesichtsinnes. Das Plateau-Oppel'sche Phänomen und sein Platz in der Reihe gleichartiger Erscheinungen. Milit.-mediz. Journ. 1881, Juni—Juli. (Die Arbeit lag uns nicht im Originale vor.)

aufmerksam, deren Befunde von allen folgenden Autoren bestätigt wurden. Die beste Beschreibung dieses Phänomens gibt wohl Hoppe¹⁾: „Hat die erste Scheinbewegung ihre grösste Ausdehnung erreicht, so hört sie plötzlich (mit einem Ruck) auf. Es folgt eine momentan ausgeprägte Pause — und es hebt nun die neue Scheinbewegung an, gleich der ersten — nur mit kleinerer Exkursionsweite. Pause — und eine dritte, selbst vierte bis fünfte Bewegung schliesst sich an mit immer kleineren Exkursionen bis zum völligen Erlöschen.“ Über die Gesamtdauer des Nachbildes haben wir keine eingehenderen Versuche angestellt.

Beeinflussung der Nachbildgeschwindigkeit.

Einfluss der Streifenbreite. Wir begannen unsere Versuche über die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes mit einem Vorbilde, dessen Muster, wie oben erwähnt wurde, in abwechselnd weiss und schwarzen, 0,5 cm breiten, vertikalen Streifen bestand, und zwar suchten wir bei den ersten Versuchen die Abhängigkeit der Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes (v_2) von der des Vorbildes (v_1) festzustellen. Die Nachbildgeschwindigkeit, die wir bei dieser Versuchsanordnung beobachteten, war jedoch so klein, und die Resultate der Versuche mit wechselnder Vorbildgeschwindigkeit waren so wenig schlagend, dass wir uns bald entschlossen, ein konturenreicheres Vorbild zu benutzen; wir wählten anstatt der sich im Vorbilde bewegendem 0,5 cm breiten Streifen solche von 0,3 cm Breite und verwandten hierzu unsere frühere Schleife, nur dass wir die Streifen durch eine konkave Zylinderlinse von 7 D. mit vertikal stehender Achse auf $\frac{2}{5}$ ihrer Breite verschmälerten; in beiden Versuchsreihen beobachteten wir Vor- und Nachbildbewegung auf einem quadratischen 4 qcm grossen Felde, das bei Verwendung der Zylinderlinse durch Verschmälderung eines entsprechend breiteren, liegend rechteckigen Feldes erhalten wurde. Es wurde natürlich berücksichtigt, dass durch die Linse auch die Geschwindigkeit um $\frac{2}{5}$ verkleinert wurde und bei den folgenden Versuchen in gleichem Maasse durch rascheren Gang der Kymographien erhöht werden musste. Es ergab sich nun, dass bei gleicher Geschwindigkeit des Vorbildes die Geschwindigkeit der Nachbildbewegung bei Beobachtung der

---

1) J. Hoppe, Studien zur Klärung gewisser Scheinbewegungen. Zeitschr. f. Psychol. und Physiol. der Sinnesorgane Bd. 7 S. 35. 1894.

schmalere Streifen wesentlich rascher war als bei Beobachtung der breiteren. Während z. B. die rascheste jemals beobachtete Nachbildgeschwindigkeit bei der Streifenbreite von 0,5 cm nur $0^{\circ} 14' 12''$ (mit den Grenzwerten $0^{\circ} 10' 7''$ und $0^{\circ} 18' 12''$) war, so betrug bei der Streifenbreite von 0,3 cm die höchste im direkten Sehen beobachtete Nachbildgeschwindigkeit $0^{\circ} 26' 52''$ (mit den Grenzwerten $0^{\circ} 21' 58''$ und $0^{\circ} 31' 50''$). Wir suchten zunächst festzustellen, worauf diese grossen Differenzen, auf die bereits mehrfach aufmerksam gemacht worden war¹⁾, beruhen. Da wir, wie oben erwähnt wurde, bei beiden Versuchsreihen auf gleich grossen Feldern beobachteten, wurden bei der Verschmälerung der Streifen drei eventuell maassgebende Faktoren variiert. Erstens wird bei gleicher Geschwindigkeit des Vorbildes ein und dieselbe Netzhautstelle bei Benutzung schmaler Streifen von einer grösseren Anzahl von Konturen in der Zeiteinheit passiert als bei der Benutzung breiter Streifen; zweitens werden in jenem Falle Netzhautlängsschnitte von geringerem gegenseitigen Abstände gleichzeitig durch die Konturen des Vorbildes gereizt, und drittens wird infolge der beide Male gleichen Feldgrösse bei Beobachtung der schmalen Streifen auch eine grössere Anzahl von Netzhautlängsschnitten gleichzeitig gereizt als beim Beobachten der breiten Streifen. Da das Feld 2 cm breit war, so waren bei der Streifenbreite von 0,5 cm immer vier Konturen gleichzeitig sichtbar, während bei der Streifenbreite von 0,3 cm sechs oder sieben Konturen gleichzeitig das Feld passierten. Dieser letztere Faktor liesse sich theoretisch dadurch eliminieren, dass man bei Benutzung der breiten Streifen auch die Breite des Feldes entsprechend vergrösserte, so dass die Anzahl der gleichzeitig sichtbaren bewegten Konturen bei beiden Versuchen gleich wäre; dieser Versuch wäre aber keineswegs einwandfrei, da, wie im folgenden zu besprechen ist, schon bei Beobachtung mit parazentralen Retinapartien das Bewegungsnachbild weitaus rascher verläuft als im direkten Sehen. Wenn demnach bei einer Verbreiterung des Feldes eine Zunahme der Nachbildgeschwindigkeit zu beobachten wäre, so liesse es sich doch nicht entscheiden, ob dies als Folge der grösseren Konturenanzahl oder der Benutzung weiter peripher gelegener Netzhautpartien aufzufassen wäre. Ein anderer Weg, um zu entscheiden, welcher von den genannten Faktoren (Zunahme der Reizzahl in der

---

1) Borschke und Hescheles, l. c. S. 394. — v. Szily, l. c. S. 103.
E. Pflüger, Archiv für Physiologie. Bd. 119.

Zeiteinheit, Distanzverringern der gleichzeitig gereizten Netzhautlängsschnitte und Zunahme der Zahl der gleichzeitig sichtbaren bewegten Konturen) die Beschleunigung der Nachbildbewegung bewirkt, ist folgender. Wenn die Zahl der in der Zeiteinheit eine Netzhautstelle passierenden Konturen maassgebend für die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes wäre, so müsste man erwarten, dass bei entsprechender Erhöhung der Vorbildungsgeschwindigkeit durch die breiteren Streifen ein ebenso rasches Bewegungsnachbild hervorgerufen werden könnte wie bei geringerer Vorbildungsgeschwindigkeit durch die schmalen Streifen. Dies ist aber keineswegs der Fall, wie folgendes Beispiel zeigt: Bei einer Geschwindigkeit der breiten Streifen von $10,0 \text{ cm-sek}^{-1}$ ($10^{\circ} 35'$), also bei 20 in der Sekunde passierenden Konturen betrug die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes durchschnittlich $0^{\circ} 5' 29''$; bei der gleichen Konturenzahl der schmalen Streifen in der Zeiteinheit also einer Vorbildungsgeschwindigkeit von $6,0 \text{ cm-sek}^{-1}$ ($6^{\circ} 22'$) betrug dagegen die Nachbildgeschwindigkeit $0^{\circ} 23' 48''$, also über das Vierfache der im ersten Versuche erzielten Geschwindigkeit.

In diesem Punkte stimmen unsere Resultate nur teilweise mit den Beobachtungen von Borschke und Hescheles überein. Auch diese beiden Autoren fanden eine Verlangsamung der Nachbildbewegung bei gleicher Geschwindigkeit des Vorbildes, wenn sie den Abstand der vorbeiziehenden Stäbe verdoppelten bzw. vervierfachten; es gelang ihnen aber im Gegensatz zu unseren Erfahrungen, durch entsprechende Erhöhung der Geschwindigkeit der weiter voneinander gerückten Stäbe die Geschwindigkeit des Nachbildes so zu erhöhen, dass sie der bei enger stehenden, nur langsamer bewegten Stäben beobachteten gleichkam. Worauf der Widerspruch zwischen diesen und unseren Versuchsergebnissen zurückzuführen ist, muss dahingestellt bleiben; doch wäre es sehr wohl möglich, dass bei dem wesentlich grösseren Felde, mit dem die genannten Autoren experimentierten, die Abnahme der Anzahl der gleichzeitig sichtbaren bewegten Konturen ihren Einfluss nicht so geltend machen konnte, wie unter unseren Versuchsbedingungen. Ähnliches wie wir beobachtete v. Szily. Er experimentierte mit drei Kreiselscheiben (I, II und III) mit einer verschiedenen Zahl (40, 30 und 10 Paaren) von abwechselnd weiss und schwarzen Sektoren, die mit gleicher Geschwindigkeit von 6° in der Sekunde rotiert und jedesmal 15 Sekunden beobachtet wurden. Es zeigte sich, dass die Nachbewegung nach Beobachtung der Scheibe I mit 40 Sektorenpaaren viel deutlicher war

als die nach Beobachtung der beiden anderen Scheiben; einen ähnlichen Effekt wie nach Beobachtung der Scheibe I konnte er nur dadurch erzielen, dass er der Scheibe II mit 20 Sektorenpaaren eine Winkelgeschwindigkeit von $12-18^\circ$, der Scheibe III mit 10 Paaren eine solche von $24-48^\circ$ erteilte. (Versuch 13, S. 116.) Er schliesst daraus, dass die Geschwindigkeit mindestens in dem Maasse wachsen müsse, als die Zahl der dieselbe Netzhautstelle treffenden Bewegungsbilder abnimmt. Indes scheint ihm auch bei gleicher Anzahl passierender Konturen das auf dunklem Grunde in Form eines Nebelwirbels abklingende Nachbild nach Beobachtung der dichterem Strahlenfigur ein merklich „dichteres“ zu sein. Dass in der Tat ein Unterschied in der „Intensität“ des Bewegungsnachbildes unter dieser Bedingung besteht, zeigt v. Szily in seinem folgendem Versuche (14, S. 117). Bei einer Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe I von 24° in der Sekunde erhält er ein so starkes Bewegungsnachbild, wie er es durch keine Geschwindigkeitssteigerung der Scheiben II und III zu erhalten vermag. Aus diesen und unseren eigenen Beobachtungen glauben wir den Schluss ziehen zu dürfen, dass auch die Zahl der in der Zeiteinheit eine Netzhautstelle passierenden Konturen für die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes ohne wesentliche Bedeutung ist. Die Beschleunigung ist bei den besprochenen Versuchen vielmehr in erster Linie wohl durch die grössere Anzahl der im Vorbilde gleichzeitig sichtbaren Konturen und ihren geringeren gegenseitigen Abstand — zwei bei konstanter Grösse des Beobachtungsfeldes untrennbare Faktoren — bedingt.

Es dürfte sich demnach hier um einen eigentümlichen Zusammenhang der einzelnen Teile des somatischen Sehfeldes handeln, der, wie es scheint, nicht direkt mit der aus der Lehre vom Lichtsinne wohlbekannten Wechselwirkung der Netzhautstellen in Analogie zu setzen ist. Während es sich nämlich in diesem Falle um eine regulatorische Wirkung der Netzhautstellen aufeinander in dem Sinne handelt, dass eine bestimmte Erregung eines Netzhautelementes in seiner Nachbarschaft die Disposition für die entgegengesetzte Erregung steigert, scheint im Falle des Bewegungsnachbildes die Erregung einer Netzhautstelle die Wirkung des gleichen Reizes auf eine benachbarte Netzhautstelle zu steigern, vorausgesetzt, dass die Geschwindigkeit der Nachbildbewegung ein Maass für eine hypothetische, durch den Anblick der Bewegung hervorgerufene Er-

regung abgibt. Es wäre nicht uninteressant, die Streifenbreite oder allgemein den Vorbildgrund experimentell zu bestimmen, bei dem das Bewegungsnachbild seine grösste Geschwindigkeit erreicht; man fände auf diesem Wege denjenigen Abstand der einzelnen Netzhautschnitte, bei dem die eben erwähnte gegenseitige Förderung der gleichzeitig erregten Netzhautelemente ihr Maximum erreicht.

Einfluss der Geschwindigkeit des Vorbildes. Nachdem wir die eben besprochene Beschleunigung der Nachbildbewegung durch die Verschmälerung der bewegten Konturen des Vorbildes beobachtet hatten, stellten wir fortan alle Versuche unter diesen günstigen Bedingungen, also bei einer Streifenbreite von 0,3 cm an. Sowohl Budde¹⁾ als auch Borschke und Heschels fanden, dass innerhalb bestimmter Grenzen die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes mit der Vorbildbewegung ansteigt, und zwar geben Borschke und Heschels an, dass die Geschwindigkeit des Nachbildes der des Vorbildes bis zu einer gewissen Grenze direkt proportional sei; sie begründen diese Annahme mit folgenden Worten: „Dies geht daraus hervor, dass bei Änderung der Geschwindigkeit in beiden Stabsystemen die Richtung des Nachbildes immer der Diagonale des Geschwindigkeitsparallelogrammes beider Vorbilder entgegengesetzt war, was nur dann möglich ist, wenn die Zunahme der Geschwindigkeit der Nachbildkomponenten proportional der Zunahme in den Komponenten des Vorbildes erfolgt.“ Wie bereits in der Einleitung erwähnt wurde, scheint uns ebenso wie v. Szily speziell für diese Versuche die Methodik der beiden Autoren nicht vollkommen einwandfrei, da die Richtung der Nachbildbewegung durch die Bewegungsrichtung der Schnittpunkte im Vorbilde beeinflusst sein könnte; in diesem Falle wäre die Bewegung des Nachbildes in der Richtung der Diagonale des Geschwindigkeitsparallelogrammes selbstverständlich und keineswegs ein Ausdruck für eine zwischen Vor- und Nachbildgeschwindigkeit bestehende Proportionalität,

Innerhalb eines gewissen Geschwindigkeitsbereiches fanden auch wir bei Beschleunigung der Vorbildbewegung eine Beschleunigung der Nachbildbewegung. Das Abhängigkeitsverhältnis der beiden Geschwindigkeiten lässt sich am leichtesten an der nebenstehenden Fig. 2 ansehen.

1) E. Budde, Über metakinetische Scheinbewegung. Du Bois-Reymond's Arch. für Physiol. S. 127 1884.

Die punktierten Striche beziehen sich auf die Versuchsperson *C* (Tab. 2), die ausgezogenen auf die Versuchsperson *B* (Tab. 3). Die Abszissenachse entspricht der Geschwindigkeit des Vorbildes in $\text{cm}\cdot\text{sek}^{-1}$, die Ordinatenachse der des Nachbildes bei relativ zehnfacher Vergrößerung also in $\text{mm}\cdot\text{sek}^{-1}$, und zwar wurden nicht die Mittelwerte der Nachbildgeschwindigkeit als Punkte, sondern das ganze jeweilig zweifelhafte Gebiet als Strecke in das Koordinatensystem eingezeichnet. Tab. 2 und 3 geben die bei den zugehörigen Versuchsreihen enthaltenen Werte, nach denen die Figuren gezeichnet wurden.

Tabelle 2.]

Versuch 42—46. 15. April 1907. Versuchsperson C.

v_1	Grenzgebiet von v_2	$\frac{v_1}{v_2}$
$0^{\circ} 31' 50''$	$0^{\circ} 5' 40'' - 0^{\circ} 7' 12''$	4,9
$1^{\circ} 16' 22''$	$0^{\circ} 6' 14'' - 0^{\circ} 10' 38''$	9,1
$3^{\circ} 10' 47''$	$0^{\circ} 13' 50'' - 0^{\circ} 18' 40''$	11,8
$6^{\circ} 21' 34''$	$0^{\circ} 21' 58'' - 0^{\circ} 31' 50''$	14,2
$8^{\circ} 47' 20''$	$0^{\circ} 20' 34'' - 0^{\circ} 28' 54''$	21,4

In der letzten Kolumne der Tabellen haben wir das jeweilige Verhältnis der Vorbild- zur Nachbildgeschwindigkeit mitgeteilt, das bei Proportionalität der beiden Geschwindigkeiten konstant sein

müsste. Wie die Tabelle zeigt, ist dies nicht der Fall; es bleibt vielmehr v_2 beträchtlich hinter den bei Proportionalität zu erwartenden Werten zurück.

Tabelle 3.

Versuch 47—51. 16. April 1907. Versuchsperson v. B.

v_1	Grenzgebiet von v_2	$\frac{v_1}{v_2}$
0° 31' 50"	0° 6' 7"—0° 7' 4"	4,9
1° 16' 22"	0° 11' 8"—0° 12' 44"	6,0
3° 10' 47"	0° 14' 50"—0° 17' 11"	12,2
6° 21' 34"	0° 18' 12"—0° 20' 34"	19,8
8° 47' 20"	0° 15' 32"—0° 21' 12"	28,8

Einfluss der Lage der gereizten Netzhautstelle. Einen ganz bedeutenden Unterschied der Nachbildgeschwindigkeiten fanden wir bei Beobachtung der Vorbildbewegung im direkten und indirekten Sehen. Die weiter peripher gelegenen Netzhautpartien reagierten unter sonst völlig gleichen Bedingungen stets mit einem viel rascheren Bewegungsnachbilde als die zentralen Anteile. Dabei fanden wir, dass bei der Beobachtung im indirekten Sehen die Beurteilung des Nachbildes wesentlich erschwert war, und dementsprechend auch das Gebiet der Geschwindigkeiten, innerhalb dessen das Urteil schwankte, bei diesen Versuchen viel weiter ausgedehnt war als bei allen übrigen. Wir verlegten deshalb auch den Fixationspunkt nie weiter als $\frac{1}{2}$ oder 1 cm (0° 31' 50" bzw. 1° 3' 40") seitlich von der Mitte eines vertikalen Randes des Beobachtungsfeldes. Folgende Versuchsreihe, die man mit den vorhin angeführten Reihen vergleichen wolle, mögen dieses Verhalten veranschaulichen:

Tabelle 4.

Versuch 52—55. 17. April 1907. Versuchsperson v. B. Fixation eines Punktes $\frac{1}{2}$ cm links vom linken Feldrande.

v_1	Grenzgebiet von v_2	$\frac{v_1}{v_2}$
0° 31' 50"	0° 9' 14"—0° 15' 32"	2,6
1° 16' 22"	0° 31' 4"—0° 36' 24"	2,2
3° 10' 47"	0° 47' 10"—0° 53' 2"	3,8
6° 21' 34"	0° 53' 2"—1° 7' 6"	6,3

An dieser Stelle wollen wir an der Hand zweier ausführlichen Protokolle und ihrer graphischen Darstellungen ein Bild von der Ausführung unserer Versuche geben:

Tabelle 5.

Versuch 33. 28. März 1907, 10^h 30'—11^h 15'. Versuchsperson v. B. $v_1 = 1,2 \text{ cm-sek}^{-1} = 1^\circ 16' 22''$ in der Sekunde. Fixation zentral. Streifenbreite 0,3 cm (durch Verkleinerung). Feldgrösse $2 \times 2 \text{ cm}$. Nachbildgrund Koordinatenpapier. Schwach bewölkter Himmel. Fixationszeit 20 Sekunden.

Zeit für 2 cm in Sekunden	Absolute v in mm-sek ⁻¹	„nach rechts“	„still“	„nach links“	Anmerkungen
5,2	3,85			+	
8,2	2,44			+	
17,2	1,16	+			
8,0	2,5			+	
10,0	2,0	+			
11,2	1,78	+			
13,2	1,52	+			Spur.
9,6	2,08			+	
10,4	1,92	+			Spur.
13,2	1,52	+			
17,6	1,13	+			
14,0	1,43	+			
10,0	2,0			+	
10,4	1,92	+			
10,2	1,96			+	
10,0	2,0		?		Erst Spur nach rechts, dann langsam nach links mit Stillständen.
9,4	2,13			+	
10,6	1,89	+			Vor allem im rechten, etwas beschatteten Teile des Feldes.
7,4	2,70			+	Deutlich.
8,4	2,38			+	
8,4	2,38			+	
7,8	2,56			+	Im beschatteten Teile Spur nach rechts.
7,8	2,56			+	
8,0	2,50			+	
9,2	2,17			+	

Grenzgebiet: 1,96—2,00. Mittelwert 1,98 mm-sek⁻¹.

Gleich von vornherein fiel dem Beobachter, der die Tage vorher Versuche im indirekten Sehen angestellt hatte, auf, wie viel sicherer und leichter das Urteil bei Beobachtung im direkten Sehen abgegeben werden konnte.

Im Anschlusse an diesen Versuch machten wir sofort den folgenden, bei dem alle Bedingungen gleich blieben, nur dass der Fixationspunkt 1 cm nach links vom linken Feldrande verlegt wurde.

Tabelle 6.

Versuch 34. 28. März 1907, 11^h 20'—11^h 50'. Versuchsperson v. B. $v_1 = 1,2 \text{ cm-sek}^{-1} = 1^\circ 16' 22''$ in der Sekunde. Fixation eines peripheren Punktes (1 cm links vom linken Feldrande). Streifenbreite 0,3 cm (durch Verkleinerung). Feldgrösse 2×2 cm. Nachbildgrund Koordinatenpapier. Schwach bewölkter Himmel. Fixationszeit 20 Sekunden.

Zeit für 2 cm in Sekunden	Absolute v in mm-sek^{-1}	„nach rechts“	„still“	„nach links“	Anmerkungen
7,2	2,77		+		Erst lange still, dann nach links.
5,0	4,0			+	
4,4	4,54			+	
9,6	2,08	+			
12,0	1,67	+			Minimal.
9,6	2,08	+			
6,8	2,94	+			
6,0	3,33		+		
5,2	3,85			+	Von jetzt ab sonniger Himmel.
5,0	4,0			+	
5,0	4,0			+	
5,2	3,85			+	
7,8	2,56	+			
6,6	3,03	+			
6,6	3,03	+			
5,4	3,70	+			
5,4	3,70		+		
6,2	3,23	+			
4,6	4,35			+	
5,2	3,85		+		
6,8	2,94			+	

Grenzgebiet: 2,77—3,85. Mittelwert 3,31 mm-sek^{-1} .

Zur Veranschaulichung der Ergebnisse der vorstehenden Tabellen diene Fig. 3, in der die Werte der Abszissen der Geschwindigkeit des Nachbildgrundes in mm-sek^{-1} entsprechen; die Punkte über der Abszisse bezeichnen die Urteile „nach rechts“, die unter der Abszisse die „nach links“, während die unentschiedenen Urteile auf die Abszisse selbst gesetzt wurden.

Die einzige in der Literatur vorliegende Schätzung der absoluten Geschwindigkeit der Nachbildbewegung bezieht sich gleichfalls auf die Beobachtung im indirekten Sehen (vgl. Budde, l. c. S. 139). Der Wert, der sich aus den Angaben Buddes berechnen lässt, beträgt für die Vorbildbewegung $24^\circ 26'$, für die des Nachbildes $0^\circ 28' 40''$ in der Sekunde. Letzterer Wert entspricht ungefähr der raschesten jemals von uns gemessenen Nachbildgeschwindigkeit.

Einfluss des Verhältnisses der Lichtstärken. Schon Borschke und Hescheles (l. c. S. 395) hatten durch Versuche mit schwarzen und grauen Stäben vor schwarzem Grunde gezeigt, dass „die Intensität der Reize und die Deutlichkeit des Vorbildes“ für die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes eine grosse Rolle spielen. Wir suchten diese Tatsache durch eine einfache Versuchsreihe zahlenmässig zu belegen und bedienten uns hierbei eines Pauspapiers, welches wir vor dem Vorbilde anbrachten. Dasselbe war so gewählt, dass es ein deutliches Erkennen der schwarz und weissen Streifen zulies, aber die Differenz der Lichtstärke zwischen den schwarz und weissen Streifen und somit ihren Kontrast und die Schärfe der Konturen wesentlich abschwächte. Wir verwendeten auch bei diesen Versuchsreihen eine Streifenbreite von 0,3 cm und ein Beobachtungsfeld von 4 qcm. Dabei zeigte es sich, dass auch bei günstigster Geschwindigkeit des Vorbildes die des Nachbildes $0^{\circ} 4' 20''$ nie überstieg. Bei einer Vorbildgeschwindigkeit von $0^{\circ} 31' 50''$ war die Nachbildgeschwindigkeit so gering, dass sie der absoluten Schwelle der Bewegungswahrnehmung (nach Aubert $0^{\circ} 1'$ pro Sekunde sehr nahe kam, und wir auf eine Bestimmung verzichten mussten. Da wir einen Einfluss der Stärke des Kontrastes der sich bewegenden Streifen und der Schärfe ihrer Konturen von vornherein für wahrscheinlich hielten, so achteten wir besonders darauf, ob sich in unseren Versuchsergebnissen Unterschiede zeigten, die auf dem Wechsel in der Beleuchtung des Vorbildfeldes beruhten; doch konnten wir niemals einen solchen Einfluss

Fig. 3.

beobachten, der nicht im Bereiche der Fehlerbreite hätte liegen können. Auch ein Versuch, bei welchem wir das Vorbild mit direktem Sonnenlicht beleuchteten, führte zu keinem einwandfreien Resultate.

Einfluss der Beobachtungsdauer des Vorbildes
Über den Einfluss der Beobachtungsdauer des Vorbildes auf die Nachbildgeschwindigkeit stellten Borschke und Heschel (l. c. S. 395 ff.) folgende Versuche an. Sie beobachteten das eine ihre sich bewegendes, rechtwinklig zueinander stehenden Stabsystem

Fig. 4.

15 Sekunden lang (in einem anderen Versuche 30 Sekunden), während das andere zunächst still stand und erst später mit gleicher, nicht näher angegebener Geschwindigkeit in Gang gesetzt wurde. Nach 15 (oder 30) Sekunden wurde am Nachbildgrunde die Richtung der resultierenden Scheinbewegung bestimmt (s. o.). Nunmehr variierten die Autoren die Beobachtungszeit des zweiten Systemes von 0—15 (oder 30) Sekunden und fanden dementsprechend, dass die Richtung der Nachbildbewegung Winkel von 0—45° mit der Bewegungsrichtung des einen Vorbildes einschloss. Es zeigte sich indes, dass diese Winkel mit steigender Beobachtungszeit nicht proportional wuchsen, sondern sich mehr auf folgende Art ordneten: Bis zu einer Beobachtungszeit von 2—4 Sekunden war der Einfluss des Bewegungsnachbildes auf die Richtung der Diagonalen gleich 0, stieg

dann rasch an, so dass er schon sehr bald stärker war als der Proportionalität entsprach; dann wurde der Anstieg weniger steil, so dass bei gleicher Beobachtungszeit ein Winkel von 45° und damit ein proportionales Verhältnis wieder erreicht wurde. Es ist indes zu bemerken, dass die Ergebnisse dieser Versuche sehr stark variierten (vgl. die Figuren S. 396) und die Konstruktion einer Kurve aus ihnen kaum möglich war. Wir stellten in dieser Richtung nur eine Versuchsreihe an, deren Resultat aber so schlagend ist, dass wir auf weitere Experimente verzichten konnten. Hierbei benutzten wir wieder die schmalen Streifen bei einer Geschwindigkeit von $3^\circ 10' 47''$ und wählten Beobachtungszeiten zwischen 5 und 120 Sekunden. Wir waren überrascht zu sehen, dass wir bei einer Dauer von 80 und 120 Sekunden Geschwindigkeiten erhielten, wie wir sie vorher nur bei Beobachtungen im indirekten Sehen erreicht hatten. Die erhaltenen Geschwindigkeiten ordnen sich in eine allmählich flacher werdende Kurve ein, deren Maximum bei 120 Sekunden offenbar noch nicht erreicht ist. Fig. 4 (S. 74) gibt die gefundenen Verhältnisse wieder. Wir wählten als Ordinate wieder die Nachbildgeschwindigkeit in $\text{mm}\cdot\text{sek}^{-1}$ und zeichneten wie in Fig. 2 die Grenzgebiete ein; auf der Abszissenachse wurden die Beobachtungszeiten aufgetragen.

Zusammenfassung.

Die Scheinbewegung des Bewegungsnachbildes vermag eine objektive entgegengesetzt gerichtete Bewegung scheinbar zu verzögern; verläuft diese objektive Bewegung langsamer als die Nachbildbewegung, so sehen wir die bewegten Konturen sich in der Richtung der Scheinbewegung fortbewegen; stimmt die Geschwindigkeit der objektiven Bewegung mit der der Nachbildbewegung überein, so kompensieren sich beide so, dass die Konturen still zu stehen scheinen oder die Richtung ihrer Bewegung undeutlich oder schwankend wird.

Auf diese Tatsache begründeten wir eine Methode zur Bestimmung der absoluten Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes, indem wir dieses auf einem sich in entgegengesetzter Richtung objektiv bewegenden Grunde abklingen liessen. Wenn wir diesem Grunde eine solche Geschwindigkeit erteilten, dass seine Bewegung durch die des Bewegungsnachbildes eben kompensiert wurde, so konnte uns die Geschwindigkeit der objektiven Bewegung zugleich als Maass für die der Scheinbewegung dienen.

Die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes schwankt innerhalb weiter Grenzen; der kleinste gemessene Wert betrug $0^{\circ} 3' 0''$, der grösste $1^{\circ} 0' 6''$ in der Sekunde.

Die unter gleichen Versuchsbedingungen, aber an verschiedenen Tagen gefundenen Werte zeigen mitunter wesentliche Differenzen, die nicht im Gebiete der Fehlergrenzen liegen, sondern durch ein bisher nicht erkanntes Moment verursacht sein müssen.

Die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes wächst, wenn die Geschwindigkeit der Vorbildbewegung innerhalb gewisser Grenzen zunimmt, um bei übermässiger Beschleunigung des Vorbildes (Beginn des Flimmerns) wieder zu sinken.

Je dichter die bewegten Konturen des Vorbildes stehen, eine desto raschere scheinbare Bewegung erwecken sie, und zwar scheint es hierbei nicht so sehr auf die Zahl der in der Zeiteinheit eine Netzhautstelle passierenden Reize als auf die Dichte und Anzahl der gleichzeitig verschieden gereizten Netzhautstellen anzukommen.

Unter sonst gleichen Versuchsbedingungen ist die Geschwindigkeit des Bewegungsbildes in den peripheren Anteilen des Gesichtsfeldes bedeutend grösser als in den zentralen.

Sie sinkt, wenn die Lichtstärkendifferenz zwischen den hellen und dunklen Streifen des Vorbildes abnimmt, und steigt mit der Beobachtungsdauer in Form einer asymptotisch einem Maximum zustrebenden Kurve.