

(Aus dem physiologischen Institute der Universität in Wien.)

## Ueber Bewegungsnachbilder.

Von

A. BORSCHKE und L. HESCHELES, stud. med.

(Mit 3 Fig.)

Während das Studium der Nachbilderscheinungen auf dem Gebiete des Licht- und Farbensinnes seit Jahren eifrigst betrieben wurde, die Zahl der darüber verfaßten Arbeiten groß und unsere Kenntniß der betreffenden Phänomene, was ihre descriptive Seite anlangt, eine ziemlich weit vorgeschrittene ist, ist die Kenntniß der analogen Erscheinungen im Bereiche der optischen Bewegungsempfindungen weniger weit ausgebildet. Dies erklärt sich aus dem Umstande, daß erst einer verhältnißmäßig späten Zeit die Einsicht vorbehalten war, daß die Perception von Licht- und Farbenempfindungen nicht die einzige Leistung des zweiten Hirnnerven sei, sondern daß auch die optische Empfindung von Bewegungen, die als eine specifische Empfindung aufzufassen ist, durch den Sehnerv vermittelt werde; das eingehende Studium dieser und der entsprechenden Nachbilder nach dem Erlöschen des auslösenden Reizes wurde erst ziemlich spät in Angriff genommen, und darum ist unsere Kenntniß und theoretische Deutung derselben von einem befriedigenden Abschlusse noch weit entfernt.

Schon PURKINJE, der gleichzeitig mit GOETHE das Studium subjectiver Gesichterscheinungen systematisch betreiben lehrte, hatte, ohne den Gegenstand einem genaueren Studium zu unterziehen, gelegentlich die Beobachtung gemacht, daß, wie bei Licht- und Farben-, ebenso auch bei Bewegungseindrücken die Art der Empfindung unter Umständen in ihr Gegentheil umschlägt, d. h. wie wir heute sagen, ein negatives Nachbild zurück-

läßt. Er fand<sup>1</sup>, „daß, wenn man eine Zeitlang eine vorübergehende Reihe formell individualisirter Gegenstände, z. B. einen langen Zug von Reitern, vorüberziehende Wellen, die Speichen eines nicht zu schnell sich umdrehenden Rades ansieht, eine den reellen Bewegungen der Gegenstände ähnliche Scheinbewegung im Gesichtsfelde zurückbleibe, die auf dem durch temporelle Eingewöhnung erworbenen Bewegungsbestreben der Augenmuskeln beruhe.“ PLATEAU, der sich eingehend mit dem Studium der Nachbilder beschäftigte und ein allgemeines Gesetz ihres Ablaufes aufstellen zu können glaubte, erhob PURKINJE's Beobachtung zum wissenschaftlichen Versuch. Er zeichnete eine ARCHIMEDES'sche Spirale auf eine weiße Scheibe, ließ sie unter dauernder Fixation des Centrums rotiren und konnte nach plötzlichem Einhalten der Rotation beobachten, daß die Spirale, deren Windungen sich früher zu erweitern schienen, nun gegen das Centrum zu schrumpfte.<sup>2</sup> OPPEL construirte zum Studium desselben Phänomens einen eigenen Apparat, den er Antirrheoskop nannte: fünf nebeneinander liegende Walzen, die mit weißem Papier überzogen waren und je eine schwarzgezeichnete Spirale trugen; alle drehten sich gleichsinnig und gleich rasch, nur die mittlere lief rascher.<sup>3</sup> Im Nachbild zeigten die Spiralen alle das PLATEAU'sche Phänomen, die mittlere in rascherem Tempo als die anderen, womit die Aufmerksamkeit auf eine bis dahin unberücksichtigt gebliebene Eigenschaft des Nachbildes gelenkt wurde, seine Geschwindigkeit. Bei OPPEL finden wir auch bereits die Angabe, die auch wir und alle anderen Beobachter, HELMHOLTZ ausgenommen<sup>4</sup>, bestätigen, daß zum Gelingen diesbezüglicher Versuche festes Fixiren nothwendig sei, größere Augenbewegungen störend wirken. Später nahm DVORÁK die PLATEAU-OPPEL'schen Versuche wieder auf, um den Nachweis zu führen, daß die Scheinbewegungen als locale Netzhautvorgänge zu betrachten seien. Er legte auf eine große, weiße Scheibe mit einer Spirale eine kleinere, concentrische mit einer entgegengesetzt laufenden und endlich eine noch kleinere dritte, ebenfalls concentrische Scheibe mit einer der ersten gleichsinnigen

<sup>1</sup> J. PURKINJE. Beiträge zur Kenntniss des Schwindels aus heautognostischen Daten. *Medicinische Jahrbücher des österr. Staates* 6. 1820.

<sup>2</sup> *Mémoires de l'Académie de Bruxelles* 8.

<sup>3</sup> *Poggendorff's Annalen* 80, 287.

<sup>4</sup> H. v. HELMHOLTZ, *Handbuch der physiologischen Optik*, 2. Aufl., S. 764.

Spirale auf, rotirte und sah nachher auf einem Schirm das Nachbild der Spirale in drei, theils schwellende, theils schrumpfende Ringe getheilt.<sup>1</sup> Der Ansicht DVORÁK's hinsichtlich der Lokalisation schloß sich G. ZEHFUSS an<sup>2</sup>, der auch eine Hypothese für die Entstehungsweise der Nachbilder aufstellte und ferner hervorhob, daß man nach dem Anschauen einer Bewegung im geschlossenen Auge „eine chaotische Masse von schwachen Lichtfunken sehe, deren Bewegungsrichtung der ursprünglichen entgegengesetzt ist“. Es hafte somit die Erscheinung an der Netzhaut u. zw., wie aus weiteren Versuchen hervorgeht, nur an der von der Bewegung erregten Stelle, über deren Rahmen sie nicht hinausgehe.

Den Ausgangspunkt unserer Untersuchungen, die eine möglichst exacte Beschreibung des Phänomens und insbesondere das Studium der Nachbildgeschwindigkeit zum Ziele hatten, bildeten die Arbeiten E. BUDDE's<sup>3</sup> und SIGM. EXNER's<sup>4</sup>; des letzteren Versuchsanordnung, der bei seinen Studien über Bewegungsnachbilder sich theils rotirender Scheiben, theils äquidistanter Liniensysteme bediente, die auf die Trommel des LUDWIG'schen Kymographion oder auf einen breiten, über zwei Walzen laufenden Papierstreifen ohne Ende gezeichnet waren, kam mit entsprechenden Modificationen auch bei unseren Experimenten in Anwendung.

Von vornherein konnte die scheinbare Geschwindigkeit des negativen Bewegungsnachbildes als abhängig vermuthet werden

1. von der Geschwindigkeit des Vorbildes,
2. von der Zahl der eine Netzhautstelle in der Zeiteinheit treffenden Contouren,
3. von deren Deutlichkeit,
4. von der Dauer der Vorbilder.

<sup>1</sup> DVORÁK. Ueber die Nachbilder von Reizveränderungen. *Sitzungsberichte der k. Akademie der Wissenschaften in Wien* 61.

<sup>2</sup> G. ZEHFUSS. Ueber Bewegungsnachbilder. *Annalen der Physik und Chemie*, hrsg. v. G. Wiedemann, N. F. 9, 672—676.

<sup>3</sup> E. BUDDE. Ueber metakinetische Scheinbewegungen und über die Wahrnehmung der Bewegungen. *Archiv f. Anatomie u. Physiologie, Physiol. Abth.*, hrsg. v. E. Du Bois-Reymond. 1884.

<sup>4</sup> S. EXNER. Einige Beobachtungen über Bewegungsnachbilder. *Centralblatt f. Physiologie*. 1887. — Derselbe. Ueber optische Bewegungsempfindungen. *Biologisches Centralblatt*. 1888.



Da vorherzusehen war, daß eine durch Zahlen ausdrückbare Schätzung der Geschwindigkeit des Nachbildes bloß nach dem Augenschein zu unsicher sein werde, mußten wir darauf bedacht sein, eine genauere Methode für diese Geschwindigkeitsbestimmung ausfindig zu machen. Anknüpfend an die Erfahrungen SIGM. EXNER's, nach welchen zwei rechtwinkelig gekreuzte Liniensysteme, die sich senkrecht auf die Richtung der Linien gleichzeitig durch dasselbe Sehfeld bewegen, ein Nachbild liefern, dessen Bewegung in der Diagonalen erfolgt, versuchten wir die Wirkung eines Liniensystems auf die Geschwindigkeit des Nachbildes nach der Richtung zu beurtheilen, um welche das Nachbild von jener Richtung abweicht, die es bei ausschließlicher Wirkung des anderen Liniensystems als Vorbild haben würde. Zu diesem Zwecke brachten wir hinter einem kreisförmigen Ausschnitt (eines senkrechten Schirmes) von etwa 5 cm Durchmesser zwei getrennte, auf einander senkrecht stehende Stabsysteme an, von denen das eine, aus verticalen Stäben — Stricknadeln — bestehende in horizontaler, das andere aus wagrechten Stäben zusammengesetzte in senkrechter Richtung fortschritt. Die Stäbe waren mit ihren Enden an Bändern ohne Ende befestigt, die um je zwei senkrecht, beziehungsweise wagrecht gestellte Walzen liefen. Die beiden Stabsysteme lagen hart hinter einander; ihre Geschwindigkeit ließ sich, die des einen unabhängig von der des anderen, mit Hilfe von Kegel-Uebersetzungen<sup>1</sup> beliebig variiren; ein Elektromotor setzte dieselben in Bewegung. Zum Fixiren diente der Kopf einer in der Oeffnung des Schirmes angebrachten Stricknadel. Die Stäbe waren von mattschwarzer Farbe, hatten eine Dicke von etwa  $1\frac{1}{2}$  mm und eine Distanz von 5 mm und hoben sich von einem, dahinter befindlichen, mattweißen Hintergrund deutlich ab, welchen zwei Glühlampen von der Seite her derart beleuchteten, daß die Stäbe keinen Schatten auf ihn warfen.

Die Oeffnung des Schirmes, durch die man die Stäbe sah, konnte in jedem Augenblicke durch einen Klappdeckel geschlossen werden, auf dem zur Erleichterung der Nachbildbeobachtung ein Gitter senkrechter und wagrechter Linien gezeichnet war. Blickte man durch den Ausschnitt, so sah man

---

<sup>1</sup> Vgl. V. STERN. Studien über den Muskelton. *Pflüger's Archiv für die ges. Physiologie* 82, S. 45. 1900.



ein Gitter sich rechtwinklig kreuzender Stäbe. Es konnten sowohl die verticalen Stäbe für sich allein in horizontaler Richtung als auch die horizontalen Stäbe in verticaler Richtung bewegt werden. Liefs man beide zu gleicher Zeit laufen, so sah man, je nach der Deutung des gegebenen Netzhauteindrucks, eine scheinbare Verschiebung eines quadratischen Gitters in der Richtung, die der Diagonale des Geschwindigkeitsparallelogrammes entsprach, bei gleicher Geschwindigkeit in beiden Systemen also unter einem Winkel von  $45^\circ$ ; oder man sah 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 war.

Jedes der Stabsysteme mußte ein seiner wirklichen Bewegung entgegengesetzt gerichtetes Nachbild erzeugen, und beide Nachbilder sich zu einem neuen combiniren, dessen Richtung in der Diagonale des Geschwindigkeitsparallelogrammes beider Nachbildcomponenten gelegen ist. Bei unseren Versuchen erstreckten sich alle Variationen, die wir hinsichtlich Geschwindigkeit, Zahl der Stäbe, Intensität der Beleuchtung und Dauer der Einwirkung vornahmen, natürlich bloß auf ein Stabsystem, so daß die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes, die das zweite lieferte, constant blieb und wir daher aus der Richtung der resultirenden Nachbildbewegung einen Schluß auf die relative Geschwindigkeit der variablen Componente ziehen konnten. Diese liefs sich, da die in Betracht kommenden Parallelogramme immer rechtwinklig waren, durch die Formel  $a \tan x$  ausdrücken, wo  $a$  die constante Geschwindigkeit des Nachbildes des einen Systems, das von allen Variationen ausgeschlossen blieb, bedeutet und  $x$  den Winkel bezeichnet, welchen die Richtung der Resultirenden mit der Richtung der constanten Componente einschließt. Läßt man die Stäbe beider Systeme gleichzeitig mit gleicher Geschwindigkeit laufen, so müssen auch die Componenten des Nachbildes unter einander gleiche Geschwindigkeit haben, und die resultirende Nachbildrichtung muß einen Winkel von  $45^\circ$  mit der Horizontalen einschließen. Dies bestätigte der Versuch.

Hierbei bot das Nachbild einige interessante Erscheinungen.

Nach einer sehr kurzen und nicht ganz constanten Phase, in der das Nachbild sich gleichsam zu rühren anfang, sah man

es mit einer Geschwindigkeit einsetzen, die offenbar im weiteren Verlauf allmählich abnahm, um endlich in Ruhe auszuklingen. Der Uebergang in Ruhe erfolgt jedoch nie scharf bestimmbar, so daß man manchmal im Ungewissen sein kann, ob das Gitter schon stehe oder, daß man es einen Moment für ruhend hält, und es dann noch eine kurz dauernde Bewegung zu machen scheint. Am ehesten ließe sich wohl das Gleiten und Wallen des Nachbildes mit einem Fliesen im Strome vergleichen. Aus der vorstehenden Schilderung könnte der Leser vielleicht vermuthen, es seien im Ablaufe des Phänomens mehrere, wohlgetrennte Phasen zu unterscheiden; eine solche Eintheilung wäre aber gezwungen, da die erste Phase sehr kurz und nicht immer mit Sicherheit zu constatiren, der Uebergang der einen Phase in die andere oft verschwommen und unbestimmt ist. Blickbewegungen während der Beobachtung von Vor- oder Nachbild, ungleichmäßiger Gang des Apparates, der die Bewegung der Stäbe besorgte, störten das Zustandekommen des Nachbildes. Oftmalige Wiederholung dieses Grundversuches überzeugte uns, daß eine verhältnißmäßig genaue Angabe der Richtung, in der das Nachbild abläuft, nur unter Benützung der im ersten Momente auftretenden Bewegungsrichtung zu gewinnen ist. Später herrscht ein beständiges Schwanken in dem Phänomen, und glauben wir jetzt, deutlich eine Bewegung unter dem Winkel von  $45^{\circ}$  zu sehen, so ist im nächsten Augenblick die Richtung bereits um einige Grade verändert, eine Weile scheint dann die Bewegung sich nur in einer Richtung fortzusetzen, um dann neuerdings ins Schwanken zu gerathen. Wir haben den Eindruck, als würden hier zeitweilig die Einzelnachbilder der beiden Stabsysteme getrennt zur Geltung kommen, wenigstens entsprechen die Grenzen dieser Schwankungen näherungsweise denselben. Bei unseren folgenden Versuchen, wo es uns auf eine möglichst exacte Angabe der Bewegungsrichtung ankam, machten wir es uns daher zur Regel, immer nur die ersten Secunden, in denen das Nachbild deutlich und unzweideutig auftauchte, zur Beurtheilung der Richtung zu benützen und von den späteren Schwankungen abzusehen. In manchen Fällen konnte man den Eindruck gewinnen, daß die Schwankungen immer in dem gleichen Sinne erfolgen und eine Abnahme des anfänglichen Winkels bewirken, doch war dies nur ausnahmsweise der Fall, viel häufiger folgten die verschiedensten Richtungen unter bald

größerem, bald kleinerem Winkeln in buntem Wechsel auf einander. Von diesen Schwankungen abgesehen war im Großen und Ganzen die Nachbildrichtung nicht viel von  $45^\circ$  abweichend.

Es lag nahe, diese immer nachweisbaren Schwankungen auf die Construction unserer bewegten Liniengruppen zu beziehen, und so dachten wir, dieselben würden möglicherweise ausbleiben, wenn wir die Zusammenstellung aus Componenten vermieden und ein rechtwinkliges Gitter unter einer Neigung von  $45^\circ$  sich so bewegen ließen, daß ein Stabsystem stets vertical blieb. Wir stellten daher die Trommel des HERING'schen Kymographion so auf, daß seine Achse mit der Horizontalen einen Winkel von  $45^\circ$  einschloß, und überzogen sie mit Papier, auf welchem Linien gezogen waren, die unsere Stabsysteme nachahmten. Bei Rotation der Trommel, die von dem Uhrwerk des Apparates tadellos besorgt wurde, und nachherigem Anhalten sah man die Nachbildschwankungen mit gleicher Deutlichkeit wie bei der ersten Versuchsanordnung.

Nachdem wir so durch unseren Grundversuch uns über den Verlauf des Nachbildes näher unterrichtet hatten, wendeten wir uns dem Studium seiner Geschwindigkeit zu.

1. Inwiefern wird die Geschwindigkeit des Nachbildes von der Geschwindigkeit des Vorbildes beeinflusst?

Unser Versuch zeigte, daß die Geschwindigkeit des Nachbildes der des Vorbildes, bis zu einer gewissen Grenze, direct proportional ist. Dies geht daraus hervor, daß bei Aenderung 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 Nachbildcomponenten proportional der Zunahme in den Componenten des Vorbildes erfolgt. So bald wir aber ein Stabsystem so rasch laufen ließen, daß sein Eindruck ein verschwommener war, nahm die Geschwindigkeit seines Nachbildes wieder ab. Lief das System der horizontalen Stäbe rascher als das der verticalen, so bildete die Richtung des Nachbildes mit der Horizontalen einen Winkel, der größer war als  $45^\circ$ . Dieses Verhältniß änderte sich aber bei zu großer Geschwindigkeit der horizontalen Stabreihe so, daß die Richtung des Nachbildes der erwarteten nicht mehr entsprach und schließlich horizontal wurde, wenn das System der wagrechten Stäbe wegen allzu bedeutender Geschwindigkeit überhaupt nicht mehr



deutlich unterschieden werden konnte. Es ist selbstverständlich, daß man die geschilderte Bewegung der Stabsysteme im Vorbilde auch in der Form sehen kann, daß sich anscheinend Quadrate in einer geneigten Richtung bewegen. Das Nachbild entspricht dann natürlich dieser scheinbaren Richtung.

2. Inwiefern wird die Geschwindigkeit des Nachbildes von der Zahl und Deutlichkeit der Stäbe beeinflusst?

Wir entfernten zunächst aus der Reihe der senkrechten, in horizontaler Richtung fortschreitenden Stäbe jeden zweiten Stab, so daß die Distanz jetzt näherungsweise doppelt so groß war wie früher. Die Geschwindigkeit der senkrechten und wagrechten Stäbe blieb vorläufig die gleiche. Wurde jetzt das Vorbild beobachtet, der Klappschirm gesenkt und das Nachbild studiert, so zeigte sich, daß, abgesehen von den Schwankungen, die jedes Nachbild bot, der Winkel, den seine Bewegungsrichtung mit der Horizontalen einschloß, unverkennbar größer war als bei gleicher Zahl der Stäbe. Zu seiner Schätzung brachten wir an unserer Klappvorrichtung einen beweglichen Zeiger an, der über einer Gradeintheilung spielte, und den wir, so genau wie möglich, in die Richtung des Nachbildes einzustellen suchten. Aus einer großen Anzahl von Beobachtungen ergab sich uns ein Winkel von  $50\text{--}55^\circ$ . Da sich die beiden Stabsysteme senkrecht auf einander gleich schnell bewegten, erschien die Verschiebung des Gitters im Vorbilde unter  $45^\circ$ . Durch Erhöhung der Geschwindigkeit der weit abstehenden Stäbe auf weniger als das Doppelte konnte im Nachbilde ein Winkel von  $45^\circ$  erzielt werden. Wir fügten nun die herausgenommenen verticalen Stäbe wieder ein, entfernten jetzt jeden zweiten von den horizontalen, in senkrechter Richtung fortschreitenden Stäben und machten die Geschwindigkeit der Stabsysteme wieder gleich. In diesem Falle erfolgte die Bewegung des Nachbildes unter einem Winkel von etwa  $40^\circ$ ; durch entsprechende Vergrößerung der Geschwindigkeit der weitgestellten Stäbe erzielten wir wieder einen Winkel von  $45^\circ$ . Um die besprochene Erscheinung noch eclatanter zu gestalten, machten wir den Abstand z. B. der senkrechten Stäbe viermal so groß wie den der wagrechten. Bei gleicher Geschwindigkeit in senkrechter und wagrechter Richtung nahm das Nachbild einen bedeutend steileren Weg als in den bisherigen Versuchen und hatte etwa eine Neigung von  $65\text{--}70^\circ$ . Vergrößerung der Geschwindigkeit der weiter gestellten Stäbe gab dem Bewegungs-

nachbild wieder eine Richtung von  $45^\circ$ . Die Resultate waren natürlich analog, wenn nicht die senkrechten, sondern die wagrechten Stäbe sich in dem vierfachen Abstand befanden.

Diese Ergebnisse bewiesen, daß in unserer Versuchsanordnung die Richtung und damit im Allgemeinen die Geschwindigkeit jedes Bewegungsnachbildes mit der Zahl der Reize in der Zeiteinheit zunimmt.

3. Inwiefern wird die Geschwindigkeit des Nachbildes von der Deutlichkeit des Vorbildes beeinflusst?

Es liefs sich vermuthen, daß auch die Intensität der Reize eine entscheidende Rolle für die Richtung des Nachbildes spielen würde, daß also schärfer vom Hintergrunde sich abhebende Stäbe die Richtung des Nachbildes mehr beeinflussen würden als weniger deutlich hervortretende. Wir halfen uns in der Weise, daß wir das eine Stabsystem, und zwar das der horizontalen Stäbe, mit einer grauen Farbe bestrichen; die Geschwindigkeit war in beiden Systemen gleich. Wir verwendeten zu diesem Versuche einen schwarzen Hintergrund; von demselben hoben sich die schwarzen Stäbe bedeutend weniger ab als die grauen. Erstere durften nicht vor den grauen Stäben angebracht werden, da diese sonst als heller Hintergrund wirkten; überdies wären die grauen Stäbe von den sie kreuzenden schwarzen scheinbar in eine Anzahl von Abschnitten zerlegt worden. Das Bewegungsnachbild verlief in diesem Versuche unter einem Winkel von  $70-80^\circ$ . Es war also die Nachbildgeschwindigkeit der grauen Stäbe bedeutend gröfser, obwohl beide Systeme sich gleich rasch bewegten. Es ist dies ein Beweis dafür, daß unter sonst gleichen Umständen die Geschwindigkeit des Nachbildes durch die Deutlichkeit des Vorbildes beeinflusst wird.

4. Inwiefern wird die Geschwindigkeit des Nachbildes von der Dauer der Beobachtung einer Bewegung beeinflusst?

Zur Entscheidung dieser Frage gingen wir so vor, daß wir das eine Stabsystem in den einzelnen Versuchen verschieden lange Zeit früher anlaufen liefsen als das andere; die Zahl der Stäbe war in beiden Systemen die gleiche, ebenso die Geschwindigkeit. War unsere Vermuthung richtig, so mußte das durch längere Zeit vorbeibewegte Stabsystem bewirken, daß das Nachbild entsprechend seiner Richtung rascher lief als in der anderen, es mußte somit eine Abänderung der Nachbildrichtung in seinem Sinne erfolgen. In unserer ersten diesbezüglichen

Versuchsreihe betrug die Gesamtdauer der Beobachtung 30 Sekunden, später fanden wir es aber zweckmäßiger, bloß 15 Sekunden lang zu beobachten. Dieser Theil unserer Untersuchungen, in dem es ganz besonders auf Genauigkeit der Beobachtungen ankam, war mit den größten Schwierigkeiten verbunden. Figur 1 und 2 stellen die Resultate der ersten, beziehungsweise zweiten

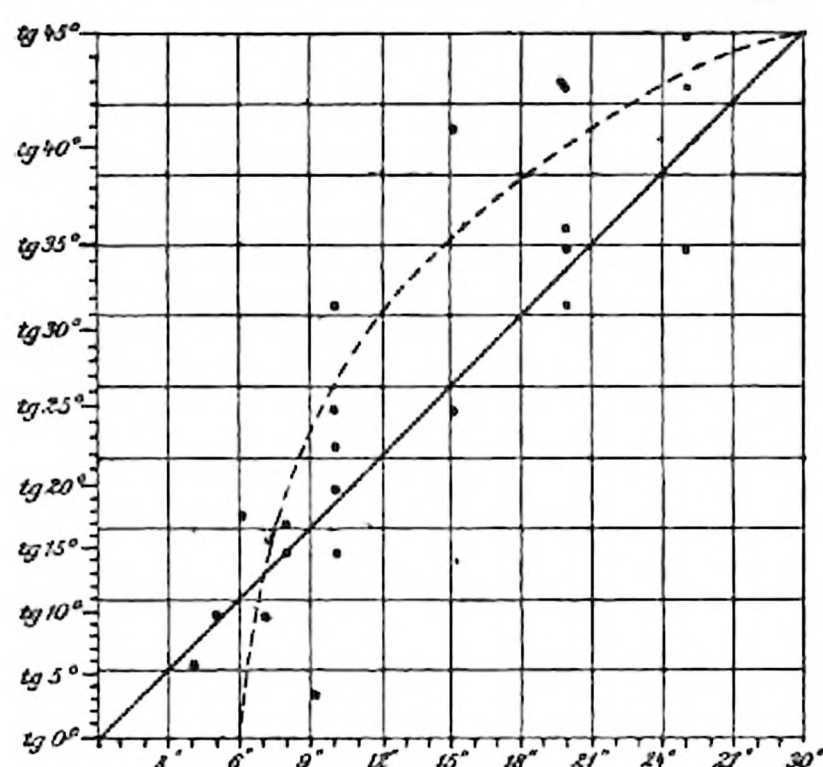


Fig. 1.

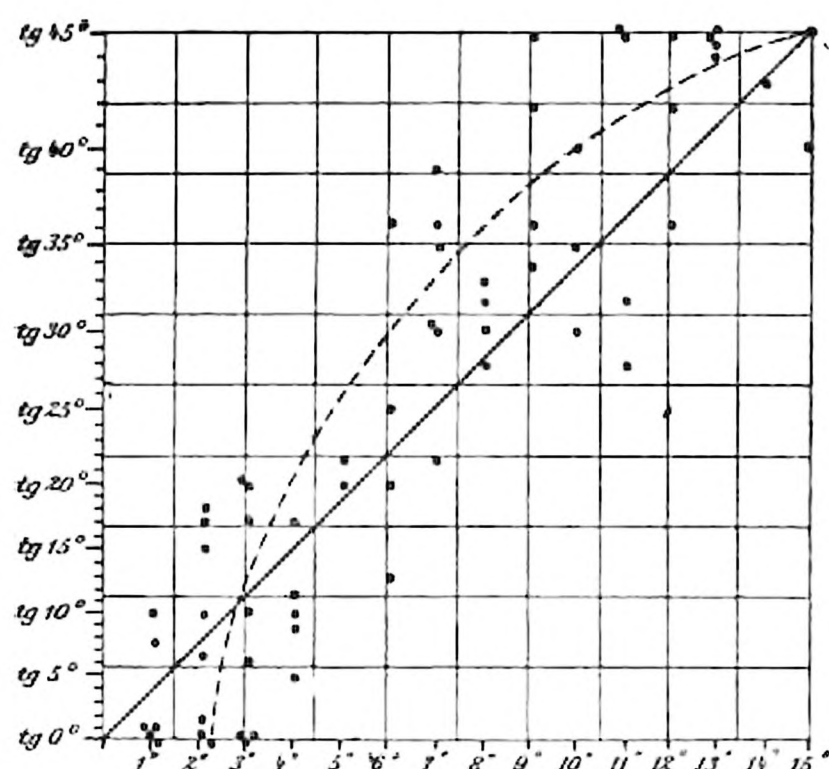


Fig. 2.

Versuchsreihe dar. Zu ihrem Verständnisse sei hervorgehoben, daß wir als Abscisse die Zeit auftrugen, während der das eine Stabsystem lief, dessen Bewegungsdauer wir variirten, als Ordinate die Tangente jener Winkel, unter welchen die Nach-



bildbewegung erfolgte. Das zweite Stabsystem lief in der ersten Versuchsreihe immer 30, in der zweiten immer 15 Secunden, die Geschwindigkeit seines Nachbildes war sonach in jeder Reihe für sich constant, und die Ordinate ist daher direct proportional jener Geschwindigkeitscompenente, die das variable Stabsystem lieferte. Stand das eine Stabsystem während der ganzen Dauer der Beobachtung still, so war seine Wirkung natürlich gleich Null, und das Nachbild bewegte sich in der Richtung, die dem Nachbild des zweiten Systems zukam. Je länger wir das eine System laufen ließen, umsomehr wurde die Richtung des Nachbildes von jener des zweiten abgelenkt, bei gleichdauernder Einwirkung beider Stabsysteme erreichte diese Ablenkung als Maximum den Winkel von  $45^{\circ}$ . Verbindet man nun die beiden Extreme von  $0^{\circ}$  und  $45^{\circ}$  durch eine gerade Linie, so findet man, daß bei kurzer Einwirkung des einen Stabsystems die Mehrzahl der für die Nachbildrichtung gefundenen Resultate unterhalb, bei längerer Einwirkung oberhalb der Geraden liegt. Bei Zunahme der Zeit, innerhalb deren das variable Stabsystem lief, ließe sich also die Zunahme der Geschwindigkeit des Nachbildes durch eine mit der Convexität nach oben gewendete Curve darstellen, wofern man es überhaupt unternehmen wollte, aus den mitgetheilten Daten eine Curve zu construiren. Bei unserer Versuchsanordnung und Beobachtungsweise hatte Beobachtung des einen Stabsystems durch 4 Secunden in der ersten Versuchsreihe, durch 2 bis 3 Secunden in der zweiten auf die Richtung des Nachbildes keinen merklichen Einfluß, was auffällt, da unter anderen Umständen schon sehr kurzdauernde Bewegungen Nachbilder hervorzurufen vermögen. So fand SIGM. EXNER, daß bei Beobachtung eines in Drehung befindlichen Rades, wenn man während der Fixation rasch nacheinander blinzelt und die Augen immer nur kurze Zeit geöffnet läßt, der Eindruck einer Rotation schwindet und man eine Scheibe vor sich zu haben glaubt, die bei jeder Blinzelbewegung anstatt in der wahren Drehungsrichtung sich fortzubewegen, ruckweise hin- und hergeschleudert wird. Unter diesen Umständen scheint also schon die kurze Zeit, während welcher die Augen geöffnet waren, zur Entstehung eines Bewegungsnachbildes ausgereicht zu haben.

5. Eine der besprochenen Versuchsanordnung ähnliche schien uns ein Mittel an die Hand zu geben, über die Dauer des Nachbildes Aufschluß zu gewinnen. Läßt man beide Stabsysteme

gleichzeitig anlaufen, das eine aber früher stille stehen als das andere, so muß nach einer gewissen Zeit sein Einfluß auf die Nachbildrichtung erloschen sein. Diese Zeit muß der Dauer des Nachbildes entsprechen. Wir beobachteten in diesem Versuche durch 30 Secunden. Figur 3 veranschaulicht die diesbezüglichen

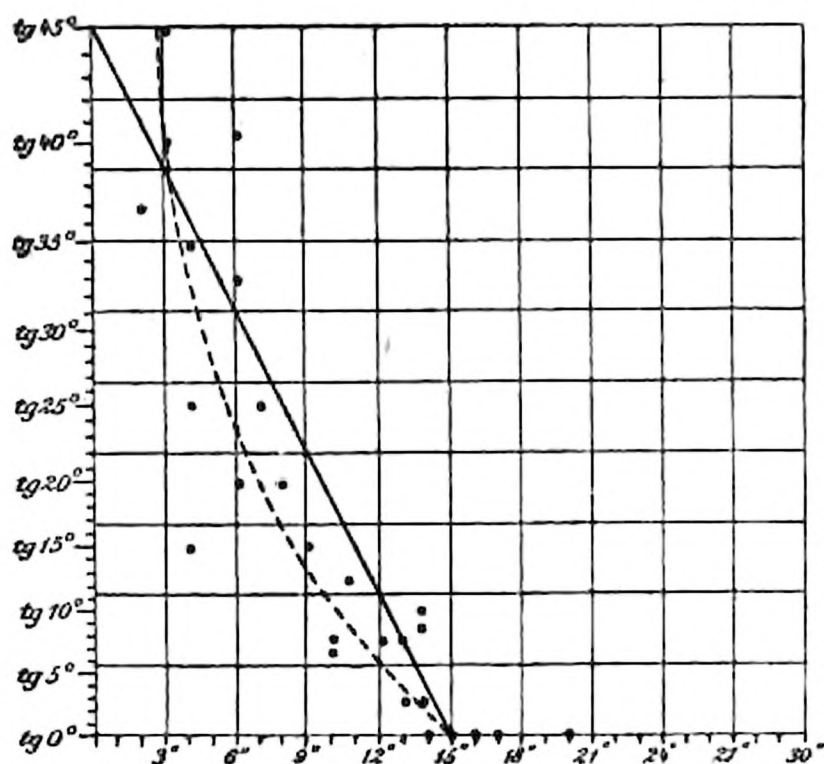


Fig. 3.

Resultate. Ordinaten sind hier wieder die Tangenten der Winkel, unter denen das Nachbild ablief, als Abscissen trugen wir diesmal die Anzahl der Secunden auf, während welcher das eine Stabsystem bereits ruhig stand. Je größer diese wurde, umso mehr nahm die demselben zugehörige Componente der Richtung des Bewegungsnachbildes ab, woraus folgt, daß die Geschwindigkeit des Nachbildes rasch abnimmt und, wie die Figur zeigt, nach ca. 15 Secunden erloschen ist. Die Abnahme der Geschwindigkeit erfolgte übrigens anfangs schneller, da die Zeit, während der das eine Stabsysteme stillstand, noch kurz war, später, bei längerer Ruhe, langsamer, einer Curve entsprechend, deren Convexität der Abscissenachse zugewendet ist. Selbstverständlich hat die hier angeführte Dauer des Bewegungsnachbildes von 15 Secunden nur für die im Versuche gegebenen Verhältnisse Gültigkeit, da ja bekanntermaßen unter anderen Umständen die Dauer desselben weit größer sein kann.

Vergleichende Beobachtungen im directen und indirecten Sehen ergaben hinsichtlich der Dauer des Nachbildes keinen Unterschied.

(Eingegangen am 31. October 1901.)