

(Aus dem physiologischen Laboratorium zu Rostock.)

Die Bewegungsempfindung.

Von

Hermann Aubert.

Von verschiedenen Autoren¹⁾ ist das Verlangen nach einer Feststellung derjenigen Geschwindigkeit ausgesprochen worden, bei welcher die Bewegung unmittelbar empfunden, d. h. sinnlich, ohne Vermittelung von Ueberlegung wahrgenommen würde, aber nur wenige Angaben liegen über dieses Problem vor.

Der erste, welcher die Frage: welche Geschwindigkeit erfordert wird, damit ein Object als bewegt wahrgenommen werde, gestellt hat, scheint Porterfield²⁾ gewesen zu sein, welcher offenbar durch besondere Versuche zu dem Ausspruche gelangt: An object moving with any degree of velocity will appear at rest, if the space it runs over in a second of time be to its distance from the eye, as 1 to 1400. Das entspricht einer Winkelgeschwindigkeit von 2' 27" (nicht, wie Klügel³⁾ fälschlich berechnet, von 14").

Erst 1825 sind wieder Bestimmungen über unser Problem

1) Czermak, Ideen zu einer Lehre vom Zeitsinn. Ber. d. Wiener Akad. 1857. Mathem. naturw. Abtheilung Bd. 24. S. 231.

Fechner, Elemente der Psychophysik 1860. I. S. 269.

Vierordt, Der Zeitsinn 1868.

Exner, S., Ueber das Sehen von Bewegungen und die Theorie des zusammengesetzten Auges. Ber. d. Wiener Akad. 1875. III. Abtheil. Bd. 72. Juli-Heft.

Hering, E., Der Raumsinn und die Bewegungen des Auges in Hermann's Handbuch d. Physiologie. Bd. III, 2. S. 556. 1880.

2) Porterfield, Treatise on the eye, the manner and phaenomena of vision. Edinburgh 1759. 8°. II. S. 416.

3) Priestley, Geschichte der Optik, übersetzt von Klügel 1776. S. 502. (Klügel muss statt 1400 gesetzt haben 14000, um zu einem Winkel von 15 Sec. zu kommen.)

gemacht worden von G. G. Schmidt¹⁾, welcher den Minutenzeiger seiner Taschenuhr als Beobachtungsobject benutzte und zu dem Resultate kam, dass die Bewegung des Zeigers bei einer Winkelgeschwindigkeit von 2' 15" sichtbar werde.

Zu etwas andern Zahlen sind Muncke²⁾ und Valentin³⁾ gelangt, indem Muncke die Bewegung eines Sternes bei 50" Winkelgeschwindigkeit und unter besonders günstigen Umständen die eines Uhrzeigers bei 34" zu sehen behauptet, — Valentin aber angiebt, dass er die Bewegung des Uhrzeigers sehe bei 1' 30" Winkelgeschwindigkeit, entsprechend dem Verhältniss des durchlaufenen Raumes zu der Entfernung = 1 : 2292; bei 1' aber (entsprechend 1 : 3438) nahm er das Fortrücken nur bei sehr scharfer Beobachtung in hellem Lichte eben noch wahr.

Obgleich mir die Aufgabe seit 30 Jahren vorgeschwebt hat, bin ich erst jetzt dazu gelangt, einen Apparat zur Disposition zu haben, welcher eine Lösung derselben durch genauere Versuche ermöglicht, zu deren Ausführung der Aufsatz von Budde über metakinetische Scheinbewegungen⁴⁾ erneute Anregung gab.

Im Laufe der Versuche selbst bin ich nun zu der Stellung folgender Specialfragen geführt worden:

1. Welche Winkelgeschwindigkeit ist erforderlich, wenn die Bewegung bei directem Sehen auf das bewegte Object im freien Gesichtsfelde sofort empfunden werden soll?

2. Wenn unter denselben Bedingungen das bewegte Object indirect gesehen wird;

3. Wenn bei directem Sehen auf das bewegte Object alle ruhenden Objecte im Gesichtsfelde verdeckt sind?

4. Wie gross müssen die Differenzen von Geschwindigkeiten der bewegten Objecte sein, wenn ein Unterschied der Geschwindigkeiten erkannt werden soll?

1) G. G. Schmidt, Hand- und Lehrbuch der Naturlehre. Giessen 1825. S. 472.

2) Muncke in Gehler's Wörterbuch, Artikel „Gesicht“. S. 1457.

3) Valentin, Lehrbuch der Physiologie des Menschen. 1848. II, 2. S. 184.

4) E. Budde, Ueber metakinetische Scheinbewegungen und über die Wahrnehmung der Bewegung. Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1884. S. 127. (Leider wimmelt der Aufsatz von sinnentstellenden Druckfehlern.)

5. Haben die Form, Deutlichkeit u. s. w. der Objecte einen Einfluss auf die Empfindung ihrer Bewegung?

6. Von vorn herein wird aber bei diesen Beobachtungen die Aufmerksamkeit darauf zu richten sein, ob es sich um eine besondere Empfindung von Bewegung, oder um einen reinen Wahrnehmungsprocess handelt, bei welchem zwei verschiedene Empfindungen zu einem Schlusse combinirt werden. Der letztere Vorgang findet z. B. für die Bewegungen der Gestirne, der Sonne und des Mondes statt, deren Bewegung wir durchaus nicht empfinden, sondern auf die wir (auf Grund von Beobachtungen, welche zu verschiedenen Zeiten gemacht werden) aus dem verschiedenen Stande am Himmel schliessen.

Zur Untersuchung dieser Fragen handelt es sich zunächst um die Construction eines Apparates, welcher 1. eine ganz gleichmässige, nicht ruckweise Bewegung hat, 2. dessen Geschwindigkeit leicht verändert werden kann, 3. dessen Geschwindigkeit ganz sicher gemessen werden kann, ohne dass der Beobachter etwas Genaueres von der Grösse der Geschwindigkeit weiss.

Den beiden ersten Anforderungen entsprach ein dem Baltzer'schen Kymographion ähnlicher, von dem Mechanikus und Custos des hiesigen physiologischen Institutes H. Westien construirter und mit äusserster Sorgfalt ausgeführter Apparat. Die Geschwindigkeit desselben lässt sich auf viererlei Art verändern, nämlich 1. durch verschiedene Einstellung des Triebrades gegen den rotirenden Cylinder, an welchem das Object befestigt ist; 2. durch Veränderung der Rotation des Foucault'schen Regulators mittelst Hemmung seiner Flügelevation; 3. durch Verstellen der Räder des Uhrwerks; 4. durch Veränderung des Triebgewichtes. Die Geschwindigkeit der Bewegung des Objectes kann dadurch in weiten Grenzen, von der Zurücklegung eines Weges von 0,01 mm in 1 Sek. bis 50 mm in 1 Sek. verändert werden. Sie ist allerdings während der ersten Sekunden eine beschleunigt zunehmende, wird aber nach 10—15 Sek. constant und bleibt dann ganz gleichmässig.

Die dritte Anforderung: genaue Messung der Geschwindigkeit des rotirenden Cylinders wird ganz direct erfüllt durch Angabe der Sekunden auf dem Papier des rotirenden Cylinders mittelst eines elektrischen Markirapparates, welcher eine sehr fein schrei-

bende Westien'sche Feder¹⁾ durch Vermittelung eines Inductionsapparates in jeder Sekunde in die Höhe hebt und einen Strich für jede Sekunde schreibt. Bei sehr langsamer Bewegung sind die Striche so dicht aneinander, aber doch so scharf abgesetzt, dass sie bei etwa 20facher Vergrösserung gezählt werden müssen und ganz genau zählbar sind.

Auf dem mit Papier überzogenen rotirenden Cylinder wurden verschiedene Beobachtungsobjecte befestigt, nämlich 1) ein in Millimeter getheilter Maassstab von Papier; 2) ein in je ein schwarzes und ein weisses Millimeter getheilter Maassstab; 3) ein in je ein schwarzes und ein weisses Centimeter getheilter Maassstab; 4) ein schwarzer Streifen von 105 mm Länge und 5 mm Breite; 5) Doppellinien von 105 mm Länge, 1 mm Breite und 4 mm Distanz von einander.

Der Beobachter sitzt bei den Versuchen in einer Entfernung von 1150 mm (oder 1500 mm bis 3000 mm) seiner Augen vor dem von diffusem Tageslichte gut beleuchteten rotirenden Cylinder und richtet seine Augen vor der Beobachtung auf einen ruhenden Punkt — hat der Apparat seine constante Geschwindigkeit erlangt, so giebt der Gehülfe ein Zeichen und der Beobachter fixirt nun das Object auf dem Cylinder und giebt an, ob er eine Bewegung des Objectes sieht, oder nicht — die Bewegung wird bei gewissen Geschwindigkeiten sofort erkannt, und zwar so schnell, dass eine Signalisirung überflüssig ist, indem die Zeit zwischen der Fixirung des Objectes und der Empfindung der Bewegung desselben eine minimale ist. — Hat der Beobachter seine Empfindung angegeben, so wird der Apparat arretirt, die Nummer der Beobachtung auf dem Cylinder von dem Gehülfen, das Resultat derselben von dem Beobachter notirt und nun erst, nachdem eine Reihe von gewöhnlich 10 einzelnen Beobachtungen gemacht worden ist, die Ausmessung der Geschwindigkeiten vorgenommen. Der Beobachter weiss also von der Geschwindigkeit des Objectes nichts, der Gehülfe hat eine ungefähre Vorstellung davon und ist dadurch in den Stand gesetzt, eine grössere oder geringere Geschwindigkeit für die folgende Beobachtung anzustellen.

Bei diesem Verfahren ist der grosse Vortheil gegeben, dass

1) H. Westien, Eine neue Schreibfeder zum Aufzeichnen genauer und feinsten Curven. Dieses Archiv Bd. 26. S. 571.

eine Controle der Beobachtungen, wenn z. B. dieselben unerwartete Resultate ergeben haben, noch nach Wochen geübt werden kann — allerdings aber auch den Nachtheil, dass viele Beobachtungen mit überflüssig grossen, oder überhaupt mit unzweckmässigen Geschwindigkeiten gemacht werden, welche für eine Grenzbestimmung werthlos sind. Herr Westien, welcher stets als Gehülfe fungirte, hat indess diesen Uebelstand nach einiger Uebung mit grossem Geschick zu eliminiren verstanden. Fehler in den Messungen sind, wie ich glauben muss, bei diesem Verfahren ganz oder nahezu ausgeschlossen — Fehler in der Beobachtung sind aber hier eben so wenig, wie bei anderen Messungen unserer Sinnesthätigkeiten auszuschliessen, in so fern dieselben abhängig sind von Aufmerksamkeit und subjectiven Empfindungen: die letzteren können durch Vervielfältigung der Beobachtungen vermindert werden und werden noch besonders zu besprechen sein — die ersteren suchte ich dadurch zu vermeiden, dass ich immer nur je 10 Beobachtungen mit den durch die Regulirung oder Einstellung der Geschwindigkeiten nothwendig werdenden Pausen zwischen den einzelnen Beobachtungen nach einander anstellte.

Die Beobachtungen bei freiem Gesichtsfelde, d. h. wenn gleichzeitig alle möglichen ruhenden Objecte sich im Gesichtsfelde befinden, sind theils der Art, dass auch der Apparat selbst frei ist, theils so, dass der Apparat verdeckt ist durch eine grosse Pappscheibe, in welcher sich ein quadratischer Ausschnitt von 80 mm Seite befindet, durch welchen der Beobachter auf den rotirenden Cylinder blickt und nur das Object auf demselben sieht. Bei freiem Gesichtsfelde wurde in der einen Abtheilung der Versuchsreihen das bewegte Object fixirt, also direct gesehen — eine zweite Abtheilung hatte die Untersuchung des indirecten Sehens von Bewegungen zur Aufgabe: Es wurden dazu auf einer neben dem rotirenden Cylinder aufgestellten Tafel Punkte fixirt, welche verschieden weit von dem in Bewegung gesetzten Objecte entfernt waren und der Winkel bestimmt, unter welchem auf den peripherischen Netzhautstellen die Bewegung deutlich empfunden werden konnte. Die dritte Aufgabe, die Bewegung bei Verdeckung aller ruhenden Objecte im Gesichtsfelde zu empfinden, lässt sich absolut wohl nur im dunkeln Raume bei Betrachtung leuchtender bewegter Objecte lösen, denn das verdeckende Object ist ja immer selbst ein

ruhendes Object; allein je undeutlicher dasselbe ist, um so mehr wird es einem Nichtobjecte ähnlich sein. Der Beobachter blickt bei diesen Bestimmungen durch einen vor dem Auge in einem dicht an das Gesicht anschliessenden, innen geschwärzten Kasten mit einem Schlitz, welcher nur das bewegte Object sehen lässt, auf dieses und giebt an, ob er die Bewegung sieht oder nicht. Es ergibt sich, dass unter dieser Bedingung ganz andere, viel grössere Geschwindigkeiten des Objectes zur Auslösung einer Bewegungsempfindung erfordert werden, als wenn sich ruhende Objecte neben den bewegten im Gesichtsfelde befinden. Zu dieser Beobachtungsreihe wurde ich durch das eigenthümliche Verhalten eines 105 mm langen, 5 mm breiten schwarzen Streifens veranlasst, welcher an seiner oberen Begrenzung gegen ruhende Theile des Apparates als bewegt, in seinem mittlern, von ruhenden Objecten entfernteren Theile als ruhend erschien.

In allen diesen Versuchsreihen handelt es sich um Bestimmung der absoluten Empfindlichkeit der Netzhaut für Bewegungen, um die absolute Schwelle im psychophysischen Sinne. Es fragt sich aber weiter, wie gross die Unterschiedsempfindlichkeit für Bewegungen ist, d. h. wie gross die Differenz zweier Geschwindigkeiten sein muss, wenn ein Unterschied erkannt werden soll? Diese Aufgabe scheint bis jetzt überhaupt nicht gestellt worden zu sein; ich finde nur eine Andeutung dieses Problems bei Porterfield (a. a. O. S. 424): If two objects, unequally distant from the eye, move with equal velocity, the more remote will appear the slower; or if theirs celerities be proportional to their distances, they will appear equally swift.

Zur Lösung dieser Aufgabe waren aber zwei sich mit constanter Geschwindigkeit bewegende gleiche Objecte erforderlich, also zwei mit verschiedenen Geschwindigkeiten aber in gleicher Richtung rotirende Cylinder. — An dem Westien'schen Kymographion befinden sich neben einander zwei ganz gleiche Cylinder, welche zusammengekoppelt werden können, so dass sich beide entweder nach derselben oder nach entgegengesetzten Richtungen bewegen; jeder Cylinder kann aber auch unabhängig von dem anderen rotiren oder stille stehen. Zu den Bestimmungen über die Unterschiedsempfindlichkeit für Bewegungen wurde nun der eine Cylinder durch das Uhrwerk des Westien'schen Kymographion, der andere durch Verkoppelung mit einem Sauerwald'schen

Kymographion in Bewegung gesetzt, und indem nun beide Objecte sich mit ungleichen Geschwindigkeiten bewegten, dem Beobachter die Aufgabe gestellt, anzugeben, welches Object sich schneller bewege, als das andere. Natürlich schreiben an jedem der beiden Cylinder Sekundenmarkirer und die Geschwindigkeiten werden für jeden der beiden Cylinder registrirt und notirt. Diese Beobachtungen wurden grösstentheils bei Ausschluss der ruhenden Objecte in der näheren Umgebung der sich bewegenden Objecte angestellt, um den Einfluss der letzteren auf die Bewegungsempfindung auszuschliessen und namentlich ungleiche Beeinflussung zu eliminiren; einige Beobachtungen bei freiem Gesichtsfelde sprechen indess dafür, dass dieser Einfluss sehr gering ist.

I.

Als Resultat meiner Beobachtungen bei freiem Gesichtsfelde und directem Sehen hat sich nun im Ganzen eine Bestätigung der Porterfield'schen, Schmidt'schen und Valentin'schen Beobachtungen ergeben, dass nämlich ein Object eine Winkelgeschwindigkeit von etwa 1' bis 2' in der Sekunde haben muss, um sofort bewegt zu erscheinen, bei geringerer Winkelgeschwindigkeit aber erst nach Verlauf einiger Sekunden bewegt, und bei noch mehr verminderter Geschwindigkeit in Ruhe zu sein scheint. Dieser Satz bedarf noch einer genaueren Bestimmung und Beschränkung, wie aus Tabelle I hervorgeht, in welcher für 5 verschiedene Objecte die zu einer Bewegungsempfindung erforderliche Winkelgeschwindigkeit v angegeben ist.

Aus den Angaben in Tabelle I (S. 354) geht nun hervor:

1. Dass eine geringere Winkelgeschwindigkeit, als von Porterfield und Schmidt angegeben ist, genügt, um sofort erkennen zu lassen, dass ein Object sich bewegt, dass meine Beobachtungen am besten mit Valentin's Befunden harmoniren, welcher 1' Winkelgeschwindigkeit unter besonders günstigen Bedingungen genügend zur Hervorrufung einer Bewegungsempfindung fand. Einigen Einfluss auf die Feinheit der Empfindung von Bewegungen hat die Beschaffenheit der Objecte: für A, C, D und E liegt die Schwelle der Bewegungsempfindlichkeit bei etwa 1', für B bei 1'26". Die ersteren Objecte haben schärfere und mehr

Tabelle I. (Freies Gesichtsfeld.)

A. Maasstab weisse und schwarze Millimeter.		B. Gewöhnlicher Millimetermaasstab.		C. Maasstab in schwarzen und weissen Centimetern.		D. Schwarzer Streifen $l = 105$, $b = 5$ mm.		E. Doppellinien $l = 105$, $b = 1$, $d = 4$ mm.	
v	Bewegungs-Empfindung.	v	Bewegungs-Empfindung.	v	Bewegungs-Empfindung.	v	Bewegungs-Empfindung.	v	Bewegungs-Empfindung.
3'	sofort deutlich								
2'8"	desgl.	2'8"	sofort deutlich	2'2"	sofort deutlich				
1'26"	desgl.	1'26"	sofort deutlich	1'52"	wahrscheinlich	1'21"	sofort deutlich	1'21	sofort deutlich
1'14"	nach 1—2" deutlich	1'1"	nach 3—4" deutlich	1'52"	nach 1—2" deutlich	1'—"	desgl.	1'—"	sofort deutlich
1'—"	sofort deutlich			1'38"	nach 1—2' deutlich	1'—"	desgl.	1'—"	nach 1'—2" deutlich
1'—"	desgl.			1'5"	sofort deutlich				
1'—"	nach 3—4" deutlich			—55"	nach 3—4" deutlich	—49"	nach 1—2" deutlich	—49"	nach 3—4" deutlich
1'—"	sofort deutlich			—54"	unsicher	—49"	sofort deutlich		
—59"	nach 3—4" deutlich			—54"	desgl.	—41"	nach 1—2" deutlich	—41"	keine
—49"	desgl.	—48,5"	nach 5—6" deutlich	—49"	desgl.	—41"	nach 3—4" deutlich	—41"	keine
—48'	desgl.								
—46"	unsicher	—45"	unsicher						
—41"	desgl.								
—35'	keine								

Tabelle Ib.

B. Gewöhnlicher Millimetermaassstab durch Ausschnitt in Pappe gesehen

Beobachter Aubert.		Beobachter Möller.	
<i>v</i>	Bewegungsempfindung.	<i>v</i>	Bewegungsempfindung.
3'14"	sofort deutlich	10'12"	sofort deutlich
2'29"	desgl.	7'30"	desgl.
2'24"	desgl.	6'22"	desgl.
2'8"	desgl.	6'—"	desgl.
2'—"	sehr bald deutlich	4'12"	desgl.
2'—"	nach einigen Sek.	4'—"	sehr bald
1'41"	desgl.	3'45"	nach 1'—2" deutlich
1'30"	desgl.	3'25"	sofort deutlich
1'21"	desgl.	3'18"	sehr bald deutlich
1'19"	keine	3'—"	nach 3—6" deutlich (3 mal)
1'3"	keine	2'30"	keine
1'0"	sehr unsicher	2'8"	nach mehreren Sek.
—52"	keine	1'42"	nach etwa 10 Sek.
—45"	keine	1'—"	keine
—36"	keine		
—22"	keine		

ins Auge fallende Contouren, Object B dagegen hat nur feine Linien, welche keinen grossen Contrast gegen ihren Grund geben: wie ein scharf markirtes und stark contrastirendes Object überhaupt deutlicher erscheint, so ist dasselbe auch wohl mehr geeignet, erkennen zu lassen, ob es bewegt oder in Ruhe ist.

2. Dass die Grenze oder Schwelle der Empfindlichkeit für Bewegung keine ganz bestimmte und scharfe ist, sondern bei ein wenig geringerer Winkelgeschwindigkeit, als derjenigen, bei welcher die Bewegungsempfindung sofort deutlich ist, doch nach 1" bis 2" oder 4" eine gleichfalls ganz deutliche, qualitativ ganz gleiche Bewegungsempfindung eintritt — es handelt sich dann nicht etwa um die Wahrnehmung, dass sich die Lage des einen Objectes gegen die des anderen verändert hat, sondern es ist immer noch eine unmittelbare Empfindung, die ich habe; wenn auch der Grenzdistrict kein sehr grosser ist, indem bei nur etwas mehr verminderter Geschwindigkeit die Bewegungsempfindung ganz erlischt und das Object in Ruhe scheint, so ist, namentlich wenn es sich um verschiedene beobachtende Individuen handelt, ein derartiger Grenzdistrict nicht zu vernachlässigen.

Ausserdem muss ich aber ganz besonders hervorheben, dass

der Eindruck, dass das Object sich bewegt, ein ganz unmittelbarer ist, ohne dass eine Ueberlegung oder ein Zweifel stattfindet und desswegen halte ich die Bezeichnung „Bewegungsempfindung“ für eine völlige zutreffende; von der Wahrnehmung der Bewegung ist dieselbe qualitativ ganz verschieden, denn bei der Wahrnehmung einer Bewegung erscheint das Object ruhend in einer Anfangslage a , dann ruhend in einer Endlage b , und aus der verschiedenen Lage a gegen Lage b schliessen wir, dass sich das Object bewegt habe, ohne irgend einen sinnlichen Eindruck von der Bewegung selbst zu empfangen. Gemeinsam ist beiden Vorgängen für unsere Erkenntniss nur eine veränderte Lage der Objecte: bei der Wahrnehmung wird die Veränderung während ihres Fortschrittes selbst nicht percipirt, bei der Empfindung macht sich das Fortschreiten der Veränderung in auffallender Weise geltend, und zwar ohne die Reflexion des Verstandes herauszufordern, als spezifische Sinnesthätigkeit. Liegen nun hier verschiedene Sinneserregungen für die eine und die andere Erscheinung vor? Im ersten Falle wandert das Netzhautbild des bewegten Objectes mit geringerer, im zweiten Falle mit grösserer Geschwindigkeit — die Grösse des durchmessenen Raumes auf der Netzhaut und die Feinheit des Raumsinnes der Netzhaut sind die primären Componenten in beiden Fällen. Die psychophysische Verwerthung muss aber bei der Wahrnehmung eine andere sein, als bei der Empfindung: im ersten Falle liegen zwei in der Zeit getrennte Empfindungen vor, welche vermöge der Erinnerung mit einander verglichen werden — im zweiten Falle sind die Zeittheile zu klein, um die zeitliche Differenz zum Bewusstsein kommen zu lassen, zu einer Fusion oder Verschmelzung der räumlichen Eindrücke ist aber die zeitliche Differenz zu gross, das Bild verharret auf jedem Punkte der Netzhaut so lange, dass es deutlich erkannt werden kann (und nicht mit dem nächstfolgenden Bilde verschmilzt, wie etwa beim Feuerrade oder einer schnell gedrehten Scheibe). Es bleibt dann für eine psychophysische Verwerthung des Vorganges nur die Auslegung möglich, dass der schnellen Aufeinanderfolge der Erinnerungsbilder eine Bewegung der Netzhautbilder zu Grunde liegt. Der ganze Process tritt aber mit demselben Zwange für die Auslegung ein, wie der Process der stereoskopischen Auslegung für die Vereinigung der verschiedenen Bilder in den beiden Augen zu einem einheitlichen, körperlichen Objecte. Wie für das

stereoskopische Sehen, so sind auch für das Sehen von Bewegungen Grenzen gegeben, indem einerseits eine gewisse Verschiedenheit der beiden Bilder vorhanden sein muss, wenn ein Körper mit 3 Dimensionen durch die haploskopische Vereinigung erzeugt werden soll — andererseits die Differenz nicht zu gross sein darf, indem dann die beiden Bilder nicht mehr zur Vereinigung zu einem Körper gebracht werden können. Bei der Bewegungsempfindung also handelt es sich ausser der Bewegung eines Bildes auf der Netzhautfläche mit einer gewissen Geschwindigkeit auch noch um ein hinzukommendes psychisches Moment, nämlich um den Zwang der Auslegung des Vorganges auf der Netzhaut. Diese psychische Auslegung ist nicht eine rein psychische Ueberlegung, sondern ein mit der sinnlichen Empfindung unmittelbar verbundener psychischer Act, welcher aber so unmittelbar und unwillkürlich eintritt, wie das Sehen eines Körpers. (Cf. Meine Physiologie der Netzhaut 1865 pag. 313 u. f.).

Bei der Bewegungsempfindung combiniren wir, wie mir scheint, vergangene Bilder (Erinnerungsbilder) mit gegenwärtigen Bildern und sind in dieser Combination beschränkt, indem eine gewisse Zeit zwischen mehreren Erinnerungsbildern vorgehen muss, wenn wir die unmittelbare, zwangsweise Auslegung einer stattfindenden Bewegung machen sollen — andererseits die Zwischenzeiten zwischen den Bildern so gross sein müssen, dass die schnell auf einander folgenden Bilder noch isolirt von einander aufgefasst werden können.

Die Bestimmung, welcher Raum auf der Netzhaut in 1 Sek. durchlaufen werden muss, wenn das Object bewegt erscheint (nach Tabelle I etwa 1 Winkelminute) gestattet nun weiter eine Berechnung der Zeit, welche mindestens zwischen zwei Erregungen verschiedener Netzhautelemente vorgehen muss, damit wir eine Bewegung empfinden. Bei einer Winkelgeschwindigkeit von $1'$ ist der in einer Sekunde zurückgelegte Weg auf der Netzhaut = $0,00436 \text{ mm} = 4,36 \mu$, und da der Durchmesser eines Zapfens in der Fovea $0,6 \mu (= 10'')$ beträgt, so würden in 1 Sek. etwa 7 Zapfenspitzen in Zeitintervallen von $\frac{1}{7}$ Sek. erregt werden. In früheren Beobachtungen (Meine Physiologie der Netzhaut S. 211 und Physiol. Optik S. 580) hatte ich die Grösse eines Empfindungskreises der Fovea zu etwa 45 Sek. bestimmt: es würden also innerhalb einer Sekunde etwas mehr, als ein Empfindungskreis passirt werden

müssen, um die Empfindung einer Bewegung auszulösen, in dieser Zeit aber eine Anzahl von 7 Zapfenspitzen in unmittelbarer Aufeinanderfolge erregt werden. Die Zeit von $\frac{1}{7}$ Sekunde für ein anatomisches Netzhautelement, von etwa $\frac{2}{3}$ bis 1 Sekunde für einen Empfindungskreis der Netzhaut ist nach anderweitigen Erfahrungen zu gross, um eine Verschmelzung der Bilder, zu klein, um eine vollständige Discontinuität der einzelnen Erregungen eintreten zu lassen — es bleibt eine Beziehung zwischen dem zur Zeit wirkenden und dem $\frac{1}{7}$ Sek. vorher dagewesenen Reizzustand bestehen, und der Ausdruck dieser Beziehung ist eine Empfindung *sui generis*, die Bewegungsempfindung. — Bei einer langsameren Aufeinanderfolge der Eindrücke wird aber der in 1 Sek. auf der Netzhaut zurückgelegte Weg zu klein, indem derselbe nur einen Theil eines Empfindungskreises beträgt: Die Folge davon muss sein, dass die Empfindungen des letzten Erinnerungs- und des Gegenwartsbildes nicht distinct sind, weil sie einander zu nahe sind (also ruhend gedacht auch nicht distinct würden gesehen werden können), es müssen also mehrere Sekunden vorgehen, bevor der Empfindungskreis überschritten wird von der Reihe der entstandenen Bilder — dem entspricht denn auch die Beobachtung, denn in Tabelle I sind mehrere Sekunden Zeit für eine Winkelgeschwindigkeit von 48'', 43'', 41'' erforderlich, ehe eine Bewegungsempfindung ausgelöst wird. — Bei noch langsamerer Bewegung endlich ist die Zeit zu lang, das Erinnerungsbild verschwindet, bevor das Gegenwartsbild in den Empfindungskreis eintritt, eine Combination der verschiedenen Bilder wird nicht mehr gefordert, der Zwang, die Bilder aufeinander zu beziehen, hört auf. — Wird dagegen die Bewegung so schnell, dass mehrere Empfindungskreise in 1 Sek. durchlaufen werden, so wird die Bewegungsempfindung immer lebhafter, tritt schon nach dem Bruchtheil einer Sekunde (scheinbar momentan) hervor, bis endlich die Bewegung so schnell wird, dass der einzelne Eindruck nicht mehr Zeit hat, isolirt aufgefasst, d. h. zur perfecten Empfindung entwickelt werden zu können, sondern die Eindrücke zu einer Gesamtempfindung, welche eine der einzelnen Empfindung ganz unähnliche Form hat, verschmelzen — wie es etwa bei einem schnellfallenden Regentropfen der Fall ist, welcher als Faden erscheint.

Mit dieser Auffassung des Vorganges auf der Netzhaut zur

Erzeugung einer Bewegungsempfindung lassen sich weiter sowohl diejenigen Beobachtungen in Einklang bringen, welche bei Ausschluss der ruhenden Objecte im Gesichtsfelde gemacht wurden, als auch die beim indirecten Sehen auf das bewegte Object gewonnenen Resultate.

II.

Bei den bisher besprochenen Versuchen handelte es sich immer um die Empfindung von Bewegungen bei gleichzeitiger Empfindung von unbewegten ruhenden Netzhautbildern — es kann also eine Vergleichung bewegter und ruhender Bilder stattfinden. Dass ein solcher wirklich stattfindet, hat Budde (a. a. O. S. 145) nachgewiesen, und meine weiteren Erfahrungen treten für diese Annahme bestätigend ein. Der schwarze senkrechte Streifen von 105 mm Länge (Tabelle I D) erregte bei 1 Sek. Winkelgeschwindigkeit nur an seinem oberen Ende, welches sich unmittelbar neben ruhenden Objecten befand, Bewegungsempfindung, während er zu ruhen schien, wenn seine Mitte fixirt wurde, und es bedurfte erheblich schnellerer Bewegung, wenn auch dieser Theil bewegt erscheinen sollte. — Wurde ferner durch einen dem rotirenden Cylinderpapier sehr ähnlichen Vorsatz von Pappe der grösste Theil des Gesichtsfeldes mit seinen ruhenden Objecten verdeckt, und durch den Ausschnitt in der Pappe nur das bewegte Object frei gelassen, so ergaben sich die in Tabelle I b rubricirten Werthe, welche eine viel grössere Geschwindigkeit als nothwendig ergaben, um eine Bewegungsempfindung zu erzeugen, nämlich 2'8" Winkelgeschwindigkeit statt 1'26" W.-G. bei ganz freiem Gesichtsfelde.

Da wir nun aus vielen Erfahrungen wissen, dass wir auch Bewegungsempfindungen haben, wenn das ganze Gesichtsfeld in Bewegung ist, z. B. wenn unser Körper oder unser Bulbus passiv bewegt wird, so suchte ich bei meinem Apparate Bedingungen zu setzen, unter denen die bewegten Objecte bei Ausschluss aller ruhenden Objecte im Gesichtsfelde beobachtet werden konnten. Zu diesem Zweck brachte ich vor den Augen ein schwarzes Kästchen an, welches nur für ein Auge (das rechte) einen schmalen Schlitz frei lässt, durch welchen kein anderes Object, als die sich bewegende Trommel gesehen werden kann. Das

Kästchen muss mit seinen Rändern, welche mit schwarzem Sammet beklebt sind, dem Gesicht dicht anliegen; dann ist Alles im Gesichtsfelde dunkel mit Ausnahme des durch den Schlitz gesehenen Objectes — ein Vergleich des bewegten mit ruhenden Objecten also ausgeschlossen. In diesen Versuchen „bei beschränktem Gesichtsfelde“ wird monocular gesehen, was, wie ich mich überzeugt habe, keine Differenz gegen die binocularen Bestimmungen bedingt. Allerdings ist in den Versuchen bei beschränktem Gesichtsfelde der dunkle Theil des Gesichtsfeldes ruhend, sein Eindruck auf die Netzhaut aber so schwach und unbestimmt, dass er keinen Anhalt für die Auffassung von Ruhe oder Bewegung zu bieten vermag. — Bei einer derartigen Isolirung des Netzhautbildes des bewegten Objectes muss nun nach meinen Versuchen die Geschwindigkeit des bewegten Objectes sehr viel grösser sein, wenn eine Bewegungsempfindung entstehen soll. Ein Vergleich der Werthe in Tabelle II für das beschränkte Gesichtsfeld mit den Werthen in Tabelle I ergibt, dass bei beschränktem Gesichtsfelde die Winkelgeschwindigkeit v ungefähr 10mal grösser sein muss als bei freiem Gesichtsfelde, wenn eine Bewegungs-Empfindung entstehen soll.

Da in diesem Falle der Vergleich mit ruhenden Gesichtsobjecten ausgeschlossen ist, so entsteht die Frage, durch welches Moment wir befähigt werden, einen bewegten Sehraum von einem ruhenden zu unterscheiden? Dass wir diese Unterscheidung machen können, geht aus vielen Versuchen hervor, welche gelegentlich unter solchen Bedingungen angestellt wurden, in welchen entweder das ganze objective Sehfeld, oder in welchen unser Körper passiv und ohne dass wir etwas davon wissen, bewegt wird, z. B. bei der Bewegung eines Schiffes, auf welchem wir fahren, oder bei Beginn der Bewegung eines Eisenbahnzuges, in welchem wir uns befinden. (Vergl. auch Mach¹⁾ und Budde a. a. O. S. 131.) Wir sind unter solchen Bedingungen jedenfalls im Stande, Bewegung und Ruhe unseres Sehraumes von einander zu unterscheiden und zu empfinden, nicht allein, wie Mach (a. a. O. S. 25) aus seinen allerdings ganz anders angeordneten Versuchen folgert, die Winkelbeschleunigung, sondern auch die Winkelgeschwindigkeit, und

1) Mach, Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen. Leipzig 1874. S. 23.

Tabelle II. (Beschränktes Gesichtsfeld.)

A. Maasstab schwarze und weisse mm.		B. Gewöhnlicher Millimetermaasstab.		C. Maasstab mit schwarzen weissen Ctm.		D. Schwarzer Streifen $l = 105, b = 5$ mm.	
v	Bewegungs-Empfindung.	v	Bewegungs-Empfindung.	v	Bewegungs-Empfindung.	v	Bewegungs-Empfindung.
88'53"	sofort deutlich					38'32"	sofort deutlich
82'55"	desgl.					35'52"	desgl.
29'44"	desgl.					29'55"	desgl.
17'57"	desgl.						
16'26"	wahrscheinlich						
16'36"	nach 5—6" deutlich	15'36"	sofort deutlich			14'57"	nach 1—2" deutlich
14'57"	desgl.	15' 0"	desgl.			14'57"	wahrscheinlich
14'57"	nach 8" deutlich	11'33"	sehr bald deutlich			12'33"	nach 3—4" deutlich
8'18"	keine	10'30"	desgl.	9'57"	nach 3—4" deutlich	8'58"	desgl.
7'57"	unsicher	9' 9"	unsicher	8'58"	nach 5—6" deutlich		
6'44"	wahrscheinlich keine	7'39"	keine	6'35"	keine		
2'59"	keine	7'30"	keine				
2' 8"	keine	4'30"	keine				
	keine	0' 0"	keine			0' 0"	keine

zwar mittelst des Auges. Bei den in Rede stehenden Versuchen kam es öfters vor, dass zuerst durch ein Versehen des Gehülften, später mit Absicht keine Bewegung an dem Apparate ausgelöst und doch das Signal zum Beobachten gegeben wurde: stets wurde dann von dem Beobachter richtig angesagt: „keine Bewegung.“

Wenn wir die Annahme festhalten, dass zur Bewegungsempfindung ein Vergleich von Bewegtem und Unbewegtem erfordert wird, so bleibt wohl nur die weitere Folgerung übrig, dass wir eine Vorstellung von dem ruhenden Raume haben und diese mit der wirklichen Bewegung des Raumes vergleichen. Mach (S. 26) drückt dies so aus: „Es sieht so aus, als ob der sichtbare Raum sich in einem zweiten Raume drehen würde, den man für unverrückt fest hält, obgleich letzteren nicht das mindeste Sichtbare kennzeichnet.“ Dann wird aber die Lebhaftigkeit oder Sicherheit der Vorstellung geringer sein, als ein wirklicher Gesichtseindruck und es wird einer grösseren Differenz zwischen Vorstellung und Wirklichkeit bedürfen, um eine Empfindung auszulösen, als zwischen zwei Wirklichkeiten. — Erfahrungen derartiger Unterschiedsempfindungen machen wir häufiger im Gebiete des Gehörsinnes, namentlich bezüglich der Höhe der Töne, die wir gleichzeitig oder rasch hintereinander hören, im Gegensatze zu einem Tone, dessen Höhe wir nach einer Erinnerungsvorstellung bestimmen sollen.

Im Ganzen ergibt sich, dass ein Vergleich des Ruhenden mit dem Bewegten bei der Bewegungsempfindung stattfindet, dass, je günstiger die Verhältnisse für diesen Vergleich sind, um so kleinere Winkelgeschwindigkeiten genügen zur Auslösung einer Bewegungsempfindung, dass bei fehlenden ruhenden Objecten im Sehraume ein Vergleich des Bewegten mit der Vorstellung des Ruhenden gemacht wird, die zur Auslösung der Bewegungsempfindung erforderliche Winkelgeschwindigkeit dann aber viel grösser sein muss.

III.

Für die oben gegebene Auffassung der Netzhauterregungen spricht ferner, dass wenn ein Punkt im ruhenden Gesichtsfelde fixirt wird, und das Bild des bewegten Objectes auf eine ausserhalb der Fovea centralis gelegene Netzhautstelle fällt, ebenfalls die Winkelgeschwindigkeit des bewegten

deutlich empfunden wurde. Die weissen Felder der Tabelle III bedeuten also, dass die Empfindung der unter v verzeichneten Winkelgeschwindigkeiten unter den oben horizontal angegebenen f_1 bis f_{10} deutlich war, die schraffirten, dass die Empfindung unsicher war oder erst nach einigen Sekunden eintrat, die schwarzen Felder, dass keine Bewegung empfunden wurde. Ich habe nur eine der Beobachtungsreihen zu Grunde gelegt, doch differiren die übrigen Reihen von dieser nur sehr wenig.

Die Winkelgeschwindigkeit muss also um so mehr zunehmen, je weiter die dem bewegten Objecte entsprechende Netzhautstelle von der Fovea centralis entfernt ist, aber die Erwartung, dass eine Abnahme der Bewegungsempfindlichkeit entsprechend der Abnahme des Distinctionsvermögens nach der Peripherie hin stattfände, hat sich nicht bestätigt. Da über die Zunahme der Grösse der Empfindungskreise peripheriewärts keine den hier in Betracht kommenden Netzhautregionen angepasste Untersuchungen vorliegen und abweichende Meinungen über das excentrische Sehen vorhanden sind, so schien es mir am zweckmässigsten, einige Beobachtungen hierüber selbst anzustellen in der Art, dass ein unmittelbarer Vergleich der Bewegungsgeschwindigkeiten und der Empfindungskreise meiner Netzhaut gemacht würde.

Es wurde also an schwarzen Quadraten auf weissem Carton von 1, 2, 5 und 10 mm Seite und Distanz von einander bestimmt, unter welchem Winkel indirecten Sehens, also mit der Blicklinie, sie eben noch distinct erschienen. Diesen Winkeln, welche die peripherische Netzhautstelle mit der Fovea centralis bildet, entsprechen nun gewisse in Tabelle III verzeichnete Winkelgeschwindigkeiten, welche erfordert werden, wenn das indirect gesehene bewegte Object die Empfindung einer Bewegung hervorbringen soll. Da ausser ihrer Distanz auch die Grösse der Objecte in Betracht kommt, so habe ich für verschieden grosse Quadrate bestimmt, unter welchem Winkel sie, indirect gesehen, als 2 erkannt werden können. — Wie die Tabelle III b zeigt, nimmt die distincte Empfindung viel stärker peripheriewärts ab, als die Fähigkeit, Bewegung zu empfinden, denn die Empfindungskreise nehmen zu in dem Verhältniss von 1:2:5:10, während die Bewegungsempfindung wie 1:2:2:2,55 u. s. w. zunimmt.

Tabelle III b (Distinction und Bewegung.)

Grösse u. Distanz der Objecte.	Distinct bei Winkel mit f .	Zur Bewegungs- empfindung erforderliche v .	Verhältniss von Objectdistanz zu v .
1 mm in 1 mm	1° 15'	1' 30"	1:1
1 " in 2 "	2° 15'	3'—	2:2
1 " in 5 "	2° 15'	3'	5:2
1 " in 10 "	3° 15'	3' 50"	10:2 55
2 " in 1 "	2° 15'	3'—	1:1
2 " in 2 "	3° 15'	8' 50"	2:1,3
2 " in 5 "	4° —	5' 37"	5:1,9
2 " in 10 "	5° —	5' 37"	10:1,9
5 " in 1 "	6° —	5' 37"	1:1
5 " in 2 "	7° —	8' 45"	2:1,5
5 " in 5 "	8° —	9'—	5:1,6
5 " in 10 "	9° —	13'—	10:2,3

Die Bewegungsempfindung ist also auf der Peripherie der Netzhaut viel feiner als das Distinctionsvermögen auf derselben, ein Resultat, welches mit Sigmund Exner's¹⁾ Beobachtungen ganz im Einklange ist, wenn er sagt: „dass eine Bewegung, welche zwischen zwei Stellen des Sehfeldes stattfindet, noch als solche erkannt wird, wenn dieselben so nahe an einander liegen, dass sie selbst bei Bewegung keine gesonderten Lokaleindrücke liefern“, und wir müssen demselben beistimmen, wenn er den peripheren Netzhautparthien als Hauptrolle die Funktion zuschreibt, Bewegungen zu sehen, welche uns dann weiter veranlassen, unsern Blick nach dem Ort dieser Bewegung zu wenden.

IV.

Die alltägliche Erfahrung lehrt, dass wir nicht nur eine Empfindung von der Bewegung überhaupt haben, sondern auch Empfindung von der grösseren oder geringeren Geschwindigkeit eines Objectes im Vergleich mit einem anderen bewegten Objecte, z. B.

1) S. Exner, Ueber das Sehen von Bewegungen u. s. w. Wiener Ber. d. Akad. 1875 Abth. III Bd. 72. Juli-Heft.

beim Gehen von Menschen, beim Fallen von Regentropfen u. s. a. — Ermittlungen über die Genauigkeit unserer Unterscheidung von Geschwindigkeiten durch besonders hierauf gerichtete Messungen scheinen indess nie gemacht worden zu sein.

Ich habe mir nun die Frage gestellt: wie gross ist unsere Unterschiedsempfindlichkeit für Bewegungen? Zur Prüfung dieser Frage müssen zwei gleiche Objecte sich mit verschiedenen, genau messbaren Geschwindigkeiten bewegen, unter übrigens möglichst gleichen Bedingungen. Es wird sich damit die Frage compliciren, ob mit der absoluten Grösse der Geschwindigkeiten sich auch die Differenz der Geschwindigkeiten, welche eben noch unterschieden werden können, ändert — ob z. B. bei Zunahme der absoluten Geschwindigkeit, auch die Differenz der Geschwindigkeiten grösser sein muss? — Zwei Kymographien mit sehr gleichmässigem Gange dienten zu diesen Untersuchungen, welche im Uebrigen den bisher beschriebenen gleich angeordnet waren; die Geschwindigkeiten wurden durch zwei Sekundenmarkirer, welche von ein und derselben Uhr regulirt wurden, notirt; der Beobachter sass gleich weit von den beiden Cylindern entfernt, und gab an, ob das rechte oder das linke Object (ein Maassstab von schwarzen und weissen Millimetern) sich schneller bewege, oder ob kein Unterschied zu bemerken sei. Die Umgebung war durch einen Pappschild verdeckt, in welchem vor jedem der beiden Cylinder ein quadratischer Ausschnitt von 8 cm Seite angebracht war. Die absoluten Geschwindigkeiten variierten von 10 Minuten bis über 1 Grad Winkelgeschwindigkeit, die Differenzen von 1^o/₀ bis 60^o/₀.

Nach vielfachen Bemühungen, eine leichte Uebersicht der Versuchsergebnisse zu geben, bin ich zu der Anordnung in Tabelle IV gelangt: bei einem Theile der Versuche wurde nämlich richtig angegeben, ob das rechte (*R*) oder das linke (*L*) Object sich schneller bewege; diese 63 Fälle sind in den beiden ersten Columnen rubricirt — in 13 Fällen konnte keine Entscheidung gefällt werden, ob *R* sich schneller (+) oder langsamer (–) bewege — in 9 Fällen wurde falsch angegeben, dass *R* sich schneller bewege, während es sich in Wirklichkeit langsamer bewege. Für jede der hieraus resultirenden 5 Columnen ist nun in je dem ersten Stabe die Differenz der Winkelgeschwindigkeiten *v* in Sekunden bzw. Minuten angegeben, in den zweiten Stäben die

absolute Winkelgeschwindigkeit des in Wirklichkeit schneller bewegten Objectes, in den dritten Stäben die Procente, um welche die beiden Geschwindigkeiten von R und L von einander differirten.

Die 76 Beobachtungen sind geordnet nach den Differenzen in den Winkelgeschwindigkeiten von $9''$ bis zu $1^{\circ}5'$; theils weil diese Differenz wichtiger erscheint, als die Angabe in Procenten, theils um eine Vergleichung der Geschwindigkeitsdifferenzen mit den einfachen Geschwindigkeiten, welche in Tabelle I angegeben sind, zu ermöglichen, bei denen es sich um die Differenz einer Geschwindigkeit v gegen die Geschwindigkeit Null (d. h. Ruhe) handelte.

Die Unterschiedsempfindlichkeit für Bewegungen scheint nach Aussage der beiden ersten Columnen für die richtigen Angaben eine sehr feine zu sein, und die Feinheit der Empfindung für Bewegungen zu übertreffen, welche ungefähr 1 Winkelminute entspricht. Berücksichtigen wir aber die Zahl der richtigen, unsicheren und falschen Angaben bei weniger als $1'$ Differenz, so finden wir 7 richtige gegenüber 5 unsicheren und 3 falschen Angaben: ich vermuthe daher, dass hier theils der Zufall, theils subjective Störungen, von denen sogleich gehandelt werden soll, ihren Einfluss geübt haben, und dass eine Differenz von weniger als $1'$ nicht sicher empfunden werden kann. — Von $1'$ bis incl. $3'$ Differenz beträgt dann die Zahl der richtigen Fälle 16, die der unsicheren 2, die der falschen 4: es ist also in 72% der Beobachtungen eine richtige Angabe gemacht worden. Noch günstiger stellt sich das Verhältniss der richtigen Angaben in den Differenzen über $3'$, indem hier auf 40 richtige Angaben 6 unsichere und 2 falsche kommen, also 83% richtiger Angaben.

Als subjective Störungen bei diesen Beobachtungen muss ich aber hervorheben, 1) die namentlich bei grossen absoluten Geschwindigkeiten von über 30 Winkelminuten in der Sekunde auftretende „metakinetische Scheinbewegung“, wie sie Budde sehr treffend bezeichnet, indem nach dem Anschauen eines sich bewegenden Objectes subjectiv eine entgegengesetzte Bewegung an ruhenden Objecten eintritt, welche sich zu der Geschwindigkeit bewegter Objecte algebraisch summirt, so dass sie eine wirkliche Bewegung geradezu larviren kann. Diese metakinetische Scheinbewegung ist aber theils verschieden gross, theils von verschiedener Dauer, worüber indess meine Beobachtungen noch nicht ab-

geschlossen sind; 2) trat eine eigenthümliche subjective Störung auf, indem der rechte Cylinder sich schneller zu bewegen schien, als der linke; beide Cylinder bewegten ihren sichtbaren Theil von rechts nach links; es wurde abwechselnd bald der rechte, bald der linke, und umgekehrt, wiederholt fixirt und dann die Angabe gemacht, dass der eine oder der andere sich schneller bewege; trotzdem war immer eine gewisse Empfindungsdifferenz zu Gunsten des rechten Objectes vorhanden, sowohl bei absolut sehr langsamer als bei absolut sehr grosser Geschwindigkeit beider Objecte. Ich mache bezüglich dieses Einflusses darauf aufmerksam, 1) dass falsche Angaben nur in dem Sinne gemacht worden sind, dass, wenn *R* sich langsamer bewegte, eine schnellere Bewegung desselben 9 mal angegeben wurde, aber niemals das Umgekehrte; 2) dass 6mal keine Differenz angegeben wurde, wenn *R* sich bedeutend langsamer als *L* bewegte, wie die vierte Columne der Tabelle IV ergibt. Eine Erklärung für diese Täuschung weiss ich nicht zu geben.

Eine scharfe Grenze für die Unterschiedsempfindlichkeit von Bewegungen lässt sich auf Grund der angeführten Beobachtungen nicht geben, doch wird die Differenz der Winkelgeschwindigkeiten ungefähr 1' betragen müssen wenn sie differente Empfindungen erzeugen soll, also ungefähr eben so viel, als zur Unterscheidung von Ruhe und Bewegung erfordert wird. — Ob die Zunahme der absoluten Geschwindigkeit einen Einfluss auf die Unterschiedsempfindlichkeit für Bewegungen hat, lässt sich aus meinen bisherigen Beobachtungen gleichfalls nicht entnehmen — vielleicht findet diese Aufgabe unüberwindliche Schwierigkeiten darin, dass bei schnelleren Bewegungen die metakinetische Scheinbewegung sich in ungleichmässiger Weise geltend macht.