

## Ueber optische Bewegungsempfindungen.

Von Prof. **Sig. Exner**,

Assistenten am physiologischen Institute in Wien.

(Nach einem Vortrage, gehalten in der philosophischen Gesellschaft zu Wien am 29. Mai 1888.)

Wenn sich in der berühmten Laokoongruppe des Vatikans zu Rom der Vater plötzlich so weit befreien könnte, um den beiden Schlangen die Köpfe abzuhaufen, so würde es ihm und den Söhnen doch nichts nützen, indem der Schlangenleib auch ohne Kopf fortfahren würde, die Körper zu umschlingen, zu umschnüren, eventuell die Knochen zu zerbrechen. Auch die geköpftete Schlange hat die Eigentümlichkeit, die Tasteindrücke, die sie an einer Stelle des Leibes empfindet, so zu benützen, dass sie sich um den Körper, der sie berührt, herumwindet. Von einem römischen Kaiser wird erzählt, er habe sich damit unterhalten, mit Pfeilen, die vorne statt der Spitze einen geschärften Halbmond trugen, den Straßen in der Arena den Kopf wegzuschießen und zu beobachten, wie sie auch ohne Kopf in possierlicher Gangart weiter liefen; eine Beobachtung, die bei der an vielen Orten gangbaren Art die Gänse zu töten, wohl auch manche Hausfrau von heute gemacht hat. Es ist dabei nicht zu verkennen, dass das Ungestüm, mit welchem ein solches geköpftete Tier das Weite sucht, ein Ausdruck des grässlichen Ereignisses ist, das es eben erlebt hat. Ähnliches ist auch an Säugetieren zu beobachten. Diese Thatsachen zeigen, dass die umschlingenden Bewegungen der Schlange, geregelt durch ihre Tasteindrücke, dass die komplizierten Bewegungen des Laufens und Springens sowie bis zu einem gewissen Grade auch ihr durch äußere Eindrücke bedingter Charakter in einem hohen Grade unabhängig von dem Organe des Bewusstseins, dem Gehirne, sind; sie befinden sich, wie wir uns auszudrücken pflegen, in den subkortikalen Organen vorgebildet und bedingt, so dass das Gehirn diese Bewegungskombinationen daselbst schon fertig vorfindet. Ähnliches lässt sich nun auch in dem Gebiete der sensorischen Eindrücke beobachten. Wir haben Ursache zu vermuten, dass auch die Erregungen, die zentripetal geleitet werden, in den subkortikalen Zentren eine gewisse Verarbeitung erfahren, ehe sie zu dem Organe des Bewusstseins, der Gehirnrinde selbst gelangen. Ich will versuchen, an dem Beispiele von den Bewegungsempfindungen zu zeigen, wie man sich eine solche subkortikale Verarbeitung sensorischer Eindrücke vorzustellen hat, eine subkortikale Verarbeitung von Eindrücken, die von der Peripherie kommen und nach dieser Verarbeitung schließlich dem Organe des Bewusstseins zugeführt werden.

Man stellte sich früher die Art, wie man zu dem Eindrücke der Bewegung eines Gegenstandes gelangt, folgendermaßen vor. Der

Gegenstand erschien uns im Momente  $t$  an dem Orte  $a$ , im Momente  $t_1$ , an dem Orte  $a_1$ , in  $t_2$  an  $a_2$  u. s. w. Indem wir dies erkannten, sagten wir, der Gegenstand bewege sich, oder wie man sich ausdrückte, erschloss man die Bewegung. Diese Auffassung ist in gewissem Sinne richtig. Sie ist richtig für den Eindruck, den gewisse Bewegungen auf uns machen, aber nicht richtig für andere Bewegungen, von denen wir Eindrücke empfangen, die wir auch als Bewegungseindrücke bezeichnen. Sie ist z. B. richtig für den Fall, dass wir den Minutenzeiger einer Uhr beobachten. Wir sehen denselben zu verschiedenen Zeiten an verschiedenen Orten und schließen richtig, dass sich der Zeiger bewegt habe. Diese Auffassung wird aber schon fraglich für den Fall, dass wir den Sekundenzeiger ansehen. Es hat J. Czermak <sup>1)</sup> schon vor vielen Jahren folgende Erfahrung mitgeteilt. Man blickt nach dem Sekundenzeiger einer Uhr, wodurch man den Eindruck seiner Bewegung erhält. (Der Zeiger soll ein schleichender und nicht ein springender sein.) Blickt man nicht auf den Sekundenzeiger direkt, sondern auf den Rand der Uhr, so dass man den Sekundenzeiger nur indirekt sieht, so hat man einen ganz andern Eindruck. Czermak schildert diesen andern Eindruck, indem er sagt, der Zeiger scheine sich jetzt langsamer zu bewegen. Man sieht zwar auch in diesem Falle, dass der Zeiger in einer Minute einen Weg von  $360^\circ$  zurücklegt; man sieht ihm aber jetzt nicht in der Weise, wie früher beim direkten Fixieren sich bewegen. Ich würde den Unterschied dieser beiden Arten von Eindrücken etwas anders bezeichnen. Ich würde sagen: im ersten Falle haben wir die Bewegung empfunden, und im zweiten Falle erschlossen oder wahrgenommen. Im 2. Falle haben wir die Bewegung dadurch erkannt, dass wir den Zeiger zu verschiedenen Zeiten an verschiedenen Stellen fanden. Im 1. Falle haben wir einen unmittelbaren Eindruck von der Bewegung selbst. Ich kann Ihnen den Beweis dafür liefern, dass in der That das, was ich hier Bewegungsempfindung genannt habe, etwas Anderes ist als das, was man im gedachten Sinne Bewegungswahrnehmung nennen kann.

Wenn es nämlich richtig wäre, dass wir nur dann eine Bewegung erkennen, wenn wir denselben Körper zu verschiedenen Zeiten an verschiedenen Punkten des Raumes sehen, so müsste folgendes wahr sein: mache ich die Entfernung vom Anfangs- und Endpunkt der Bewegung so klein, dass man diese beiden Punkte nicht unterscheiden kann, oder mache ich die Zeit, während welcher sich der Körper von dem Punkte  $a$  nach dem Punkte  $a_1$  begibt, so kurz, dass man die Zeitmomente, die dem Anfang und dem Ende der Bewegung entsprechen, nicht unterscheiden kann, so müsste in beiden Fällen ein Bewegungseindruck nicht stattfinden. Ein solcher findet aber statt. Sprechen wir zuerst von dem Zeitintervall. Lasse ich in einem gewissen Momente einen

1) Ideen zu einer Lehre von Zeitsinn. Wiener Akad. d. Wiss. XXIV.

hellen Punkt in  $a$  und einen Moment später einen solchen in  $a_1$  auftreten, dann kann man diejenige Zeit bestimmen, bei welcher die Zeitdifferenz des Auftretens der beiden Punkte eben noch erkannt wird. Diese Zeitdifferenz ist für gewisse Fälle und unter gewissen Bedingungen, auf die ich nicht näher eingehe, 0,045 Sekunden<sup>1)</sup>. Wenn ich aber jetzt den Punkt  $a$  und den Punkt  $a_1$  zum Anfangs- und Endpunkt einer Bewegung mache, d. h. wenn ich in  $a$  einen hellen Punkt auftreten, diesen nach  $a_1$  wandern und da verschwinden lasse, dann erkenne ich noch die Richtung der Bewegung und die Bewegung überhaupt, wenn die Zeitdifferenz zwischen Auftreten und Verschwinden nicht geringer ist als 0,014 Sekunden. Es ist das also ein Drittel jener Zeit, welche nötig ist, um die zeitliche Differenz zweier Netzhautindrücke als solche zu erkennen. Aber auch die Entfernung kann man so gering machen, dass man die Anfangs- und Endpunkte der Bewegung nicht mehr von einander unterscheiden kann, und doch sieht man die Bewegung noch. Dies lässt sich nicht für einen Gegenstand, der direkt angeblickt wird, nachweisen, wohl aber für einen Gegenstand, der mit einem seitlichen Teile der Netzhaut angesehen wird. Es ist bekannt, dass man mit dem seitlichen Teile der Netzhaut schlecht lokalisiert. Wenn ich in den seitlichen Teil des Sehfeldes 2 helle Scheibchen von passender Größe und gegenseitiger Entfernung bringe, so kann ich es erreichen, dass sie nicht mehr als zwei, sondern als ein heller Fleck erscheinen. Wenn ich aber jetzt diese Scheibchen bewege, so sehe ich ohne weiteres die Bewegung. Man kann nun leicht ermitteln, dass der Anfangs- und Endpunkt der Bewegung nur eine viel geringere Entfernung von einander haben müssen, als die hellen Punkte unter einander, und doch wird die Bewegung gesehen. Es hängt dies damit zusammen, dass wir überhaupt an den seitlichen Teilen der Netzhaut ein außerordentlich feines Organ für das Wahrnehmen der Bewegung haben, ja wir sind an diesen Anteilen der Retina sogar in gewissem Sinne hyperästhetisch für Bewegungen, wie folgender Versuch zeigen kann. An der Linse eines Pendels<sup>2)</sup> von etwa 1,5 Meter Länge ist eine brennende Kerze angebracht. Beobachtet man dieselbe so im indirekten Sehen, dass die Richtungslinie derselben mit der Gesichtslinie etwa einen Winkel von  $45^\circ$  einschließt, und lässt das Pendel Schwingungen von einigen Zentimetern Elongation machen, so wird diese Elongation regelmäßig überschätzt, und zwar wird sie für 2—3 mal so groß gehalten, als sie wirklich ist. (Es kann übrigens jede Hängelampe zu diesem Versuche benutzt werden.)

1) Vergl. Sigm. Exner, Experimentelle Untersuchungen der einfachsten psychischen Prozesse. Pflüger's Arch. f. Physiol., Bd. XI, S. 409.

2) Vergl. Sigm. Exner, Ein Versuch über die Netzhautperipherie als Organ zur Wahrnehmung von Bewegungen. Pflüger's Archiv für die ges. Phys. XXXVIII.

Diese Ueberempfindlichkeit für Bewegungen, welche die Netzhautperipherie gegenüber dem Centrum zeigt, ist übrigens nur eine Teilersehung der allgemeinen Eigenschaft der Netzhautperipherie, für Veränderungen überhaupt sehr empfindlich zu sein. Man kann in dieser Beziehung die anseheinend absurde Beobachtung machen, dass z. B. eine Gruppe von hellen Punkten auf dunklem Grunde, hinlänglich weit an die Peripherie des Sehfeldes geschoben, auch nicht mehr annähernd die Anzahl derselben erkennen lässt: sobald aber ein solcher Punkt zu den vorhandenen dazukommt, oder aus der Gruppe verschwindet, macht dieses einen lebhaften Eindruck — man ist geneigt zu sagen, es habe sich „etwas gerührt“ im Sehfeld<sup>1)</sup>.

Zu den Bewegungsempfindungen zurückkehrend, müssen wir also annehmen, es gäbe eine spezifische Bewegungsempfindung. Diese Bewegungsempfindung hat so wie andere Empfindungen aus dem Gebiete des Gesichtsorganes eine untere und natürlich auch eine obere Grenze. Es gibt eine untere Grenze, bei der man keine Bewegungsempfindung mehr hat, bei welcher sich ein Körper so langsam bewegt, dass wir nicht einen unmittelbaren Eindruck der Bewegung, sondern nur eine Bewegungswahrnehmung haben in dem Sinne, wie ich es früher anführte. Es sind schon vor vielen Jahren Versuche von G. Schmidt und Valentin gemacht worden, um diese untere Grenze zu bestimmen. In neuester Zeit sind von Aubert<sup>2)</sup> diese Bestimmungen wiederholt worden. Er fand, dass für gewöhnliche Verhältnisse die untere Grenze 1—2 Winkelgrade in der Sekunde beträgt, d. h. ein Körper, der sich um 1—2 Winkelgrade in der Sekunde bewegt, löst schon eine Bewegungs-Empfindung aus. Nach der Rechnung von Aubert legt das Bild desselben den Weg von 6—7 Zapfen auf dem Centrum der Netzhaut in der Sekunde zurück. Die Bewegungs-Empfindung hat weiter mit den gewöhnlichen optischen Empfindungen das gemein, dass man von ihr ein negatives Nachbild erhält. Dreht man eine Scheibe, auf welcher eine Spirale so gemalt ist, dass sie vom Centrum ausgehend in Bogenabschnitten von stetig zunehmendem Radius das Centrum mehrmals umkreist, in der einen Richtung um ihre Axe, so erhält man den Eindruck von im Mittelpunkt auftauchenden und der Peripherie zuschwellenden Kreisen. Fixiert man eine solche Scheibe eine Reihe von Sekunden und hält sie dann plötzlich fest, so scheinen die Kreise die entgegengesetzte Bewegung zu machen, sie schrumpfen nach dem Centrum zusammen. Umgekehrt ist das Bewegungsphänomen, wenn man die Scheibe zuerst nach der andern Seite gedreht hat. Die Täuschung dauert einige Sekunden lang fort. Wenn man, nachdem man sein Auge durch die Bewegungs-

1) Vergl. Sigm. Exner, Ueber die Funktionsweise der Netzhautperipherie und den Sitz der Nachbilder, Gräfe's Arch. f. Ophthalmologie XXXII.

2) Aubert, Die Bewegungsempfindung. Pflüger's Arch. f. Phys. Bd. 39 S. 347 und Bd. 40 S. 459.

Empfindung gereizt hat, dasselbe nach einem andern Gegenstande richtet z. B. nach einem Gesichte, so erscheint dieses Gesicht verzerrt, es scheint zu schwellen oder zu schrumpfen. Es ist dabei diese Irritierung der Netzhaut beschränkt auf den Teil derselben, auf dem sich das Bewegungsbild befand, und es widerlegt sich hiedurch die Anschauung, dass diese Bewegungsnachbilder auf unwillkürlich ausgeführten Bewegungen der Augenmuskeln beruhen. Diese negativen Bewegungsnachbilder schließen sich unmittelbar an den Bewegungseindruck selbst an, und daher entsteht eine Täuschung, die recht frappant ist. Setzt man eine mit 10—20 deutlich gemalten Radien versehene Scheibe in mäßig schnelle Rotation (circa 6 Umdrehungen i. d. Min.), fixiert das Zentrum und blinzelt dabei so rasch hintereinander als man kann (oder betrachtet sie durch eine mit Ausschnitten versehene rotierende Scheibe), so hat man den Eindruck, dass die Scheibe im Ganzen nicht vorwärts kommt, dass sie zwar das Bestreben hat, sich in der einen (thatsächlich richtigen) Richtung zu drehen, aber bei jedem Lidschlag ruckartig zurückgeworfen wird<sup>1)</sup>. Es rührt dies daher, dass das negative Nachbild von entgegengesetzter Bewegung sich sogleich an den Bewegungseindruck selbst anschließt. Es ist übrigens zur Hervorrufung des Bewegungsnachbildes nicht nötig, ein Objekt zu fixieren, an welchem dann die Scheinbewegung eintritt. Es genügt, wenn man die Augen schließt, wenigstens für diejenigen, die den Lichtschimmer des dunklen Gesichtsfeldes zu beobachten gewohnt sind. Sie erkennen dann in diesem Nebel das negative Nachbild der Bewegung in einem entsprechenden Wogen desselben<sup>2)</sup>. Ja es ist auch nicht nötig, dass das Objekt, welches das Nachbild hervorruft, uns bewegt erscheint. Geht man durch längere Zeit mit gesenktem Blicke auf einer Straße, und fixiert dabei z. B. einen in der Hand getragenen Gegenstand, so scheint sich, wenn wir stehen bleiben, der Boden von uns zu entfernen, obwohl uns der Boden doch nicht bewegt im gewöhnlichen Sinne des Wortes erschien<sup>3)</sup>. Diese Erfahrung in einen Versuch umzugestalten, führte ich durch eine passende Vorrichtung ein kleines fixiertes Zeichen immer wieder von links nach rechts an einem linierten Papier so vorbei, dass eine Linie nach der andern den Fixationspunkt passierte. Bei plötzlichem

1) Sigm. Exner, Einige Beobachtungen über Bewegungsnachbilder. Centralblatt f. Physiol., 1887, S. 135.

2) Zehfuss. Wiedem. Ann. IX.

3) Da sich beim Gehen im allgemeinen die Gegenstände unseres Sehfeldes auf der Netzhaut verschieben, wir sie aber doch nicht bewegt sehen, so zeigt das, dass wir in diesem Falle die Bewegungsempfindungen ignorieren. Befindet sich aber ein Gegenstand in einer andern Entfernung, als wir vorausgesetzt haben, so zeigt er, wegen der nicht zutreffenden Winkelgeschwindigkeit, doch eine Scheinbewegung. Daher rührt es, dass wir häufig, besonders in der Dämmerung, eine Bewegung zu sehen glauben, und uns dann überzeugen, dass ein z. B. in den Weg hereinhängender Ast die Veranlassung war.

Feststellen des Fixationszeichens sieht man dann ein Bewegungsnachbild von der Richtung, in welcher jenes bewegt wurde. Es hat freilich einen etwas andern Charakter als die gewöhnlichen Bewegungsnachbilder, indem ich nicht so sehr die Linien bewegt, als vielmehr einen eigentümlichen subjektiven Nebel vor oder hinter den Linien in der genannten Richtung ziehen sehe. Lenkt man seine Aufmerksamkeit auf die Linien und das ruhende Fixationszeichen, dann gewahrt man allerdings eine geringe Verschiebung beider gegeneinander als Ausdruck des Nachbildes; ich muss es aber dahingestellt sein lassen, ob sich dabei die Linien nach rechts, oder das Fixationszeichen nach links verschiebt.

Dass das Bewegungsnachbild bloß auf die direkt gereizte Stelle der Netzhaut beschränkt ist, hat Dvořák<sup>1)</sup>, ein Schüler Mach's, gezeigt. Seine Scheibe trug eine Spirale, deren äußerster und innerster Teil in demselben Sinne gewickelt waren, während der mittlere Teil ein Stück einer Spirale von entgegengesetzter Drehung trug. Wird diese Scheibe in Rotation versetzt, so bekommt man den Eindruck, dass die innerste der 3 Zonen anschwillt, die mittlere schrumpft und die äußerste gleich der innersten anschwellt. Diesen 3 Zonen entsprechend sind die negativen Bewegungsnachbilder geschaffen. Einen sehr hübschen Versuch dieser Art hat v. Fleischl<sup>2)</sup> ausgeführt: er hat nämlich für eine kleine Stelle der Netzhaut sich ein Bewegungsnachbild von horizontaler Richtung geschaffen und dann mit dieser Netzhautstelle und ihrer Umgebung einen oder eine Anzahl vertikaler Striche angeblickt. Nun musste ein solcher Strich, so weit er in das Bereich der Bewegungsnachbilder fiel, eine entsprechende Ortsveränderung zeigen, in seinen übrigen Anteilen aber ruhend erscheinen. Dies thut er auch; man sieht ihn mit dem betreffenden Anteil bewegt, dabei bleibt dieser doch immer die grade Fortsetzung der andern Anteile, welche vom Bewegungsnachbild nicht betroffen werden. Wie ist das möglich? v. Fleischl sagt, die Gesetze der Logik sind anwendbar auf die Denkprozesse, nicht aber auf die Empfindungen der Sinnesorgane. Uebrigens hat Budde<sup>3)</sup> einen analogen Versuch unternommen, sagt aber, er sei bei demselben nicht zu einem entschiedenen Resultat gekommen, weil die Gradheit des Striches doch ein zu auffallender und sich aufdrängender Umstand sei.

Was geschieht nun, wenn man in beiden Augen verschiedene Bewegungen der Netzhautbilder erzeugt? Es ist bekannt, dass man stereoskopisch jedem Auge eine Farbe bieten kann. Viele Leute sehen dann die Mischfarben, sie können aus gelb und blau weiß mischen. Ob diese Mischung eine vollständige ist oder nicht, lassen wir dahingestellt. Jedenfalls stumpfen sich diese Farben gegenseitig ab, beeinflussen sich also. Wie

1) Wiener akad. Sitzungsber., Bd. 61, 1870.

2) v. Fleischl, Physiologisch-optische Notizen. Wiener akad. Sitzber., Bd. 86, 1882, Abt. III.

3) Du Bois-Reymond's Archiv f. Phys., 1884, S. 132.

steht dies inbezug auf die Bewegungsempfindungen? Wenn man eine mit Rädern versehene rotierende Scheibe mit einem Auge direkt, mit dem andern durch ein Reversionsprisma betrachtet, so sieht man mit dem ersten Auge die Bewegung in natürlicher Art, mit dem Auge, das durch das Prisma bewaffnet ist, sieht man die Scheibe sich in entgegengesetzter Richtung drehen. Man bekommt dann binokular einen unruhigen Eindruck, und blickt man nach einigen Sekunden auf ein ruhendes Objekt oder hält die Scheibe fest, und fixiert diese weiter, so bekommt man kein deutliches Bewegungsnachbild. Schließt man das eine Auge, so bekommt man das Nachbild desselben; schließt man das andere, so sieht man dessen Nachbild, also eine Scheinbewegung, die entgegengesetzt ist der ersten. Man kann die ruhende Scheibe durch abwechselndes Schließen und Öffnen der beiden Augen ihre Richtung scheinbar wechseln lassen. Es entspricht das den Verhältnissen, wie sie bei Farbnachbildern sind. Man kann, wenn man im Stereoskop aus zwei Farben z. B. Blau und Gelb Weiß gemischt hat, sich überzeugen, dass man mit dem einen Auge das negative Nachbild des Blau, mit dem andern das negative Nachbild des Gelb sieht. Man kann aber bei den Bewegungsempfindungen etwas beobachten, das bei den Farbenempfindungen nicht vorkommt. Wenn man nur mit einem Auge die genannte Scheibe beobachtet, dann das ermüdete Auge schließt und mit dem unermüdeten nach einem ruhenden Objekte blickt, so sieht man an diesem die entgegengesetzte Bewegung. Man kann das Nachbild eines Auges also auf das andere Auge übertragen. Es ist Analoges für Farben behauptet worden, diese Behauptung beruht aber meines Erachtens auf einer Täuschung<sup>1)</sup>.

Nun kann man den Versuch über Bewegungsnachbilder auch wesentlich anders gestalten. Man denke sich ein Rad nicht gemalt, sondern mit Speichen aus Draht versehen in Rotation versetzt, und der Beschauer bringe die Ebene des Rades in die Medianebene des Körpers, so dass die Speichen der jeweiligen obern Hälfte desselben sich z. B. gegen seine Nase bewegen, dann bekommt er den Eindruck einer Bewegung in der Tiefendimension. Dieser Eindruck wird hervorgerufen dadurch, dass auf seiner rechten Netzhaut sich die Bilder der Drähte verschieben, entsprechend der Verschiebung des Gegenstandes von rechts nach links. Auf der linken Netzhaut verschieben sie sich, entsprechend einer Verschiebung des Gegenstandes von links nach rechts. Hält man das Rad plötzlich fest, dann tritt die scheinbare entgegengesetzte Bewegung des Rades ein. Das Rad dreht sich zurück. Das würde dafür sprechen, dass es auch ein Bewegungsnachbild gibt in der dritten Dimension, der Tiefendimension. Ich habe den Versuch auch in folgender Form angestellt: Ich blicke

1) Sigm. Exner, Ueber den Sitz der Nachbilder im Centralnervensystem. Repertorium der Physik XX. Protokoll d. chem. phys. Gesellschaft in Wien v. 18. März 1884.

auf einen Papierstreifen ohne Ende, welcher mit verschiedenen sich kreuzenden Liniensystemen rasteriert ist. Bei passender Stellung der Augen gegen den horizontalen Anteil des Papierbandes bekomme ich einen sehr lebhaften Eindruck der Bewegung zu mir oder der Bewegung von mir, also den Eindruck der Tiefendimension. Halte ich dieses Papier plötzlich fest, so sehe ich auch eine rückgängige Bewegung. Trotzdem gibt es, wie mir scheint, ein eigentliches Nachbild für die Tiefendimension nicht, d. h. ein Nachbild, in welchem wir jeden angeblickten Gegenstand sich entfernen sehen, wenn wir vorher einen sich nähernden betrachteten, und umgekehrt, analog den Scheinverschiebungen nach oben und unten, oder nach rechts und links. Die beiden Bewegungen nämlich, die man hier gesehen hat, die scheinbare Nachbilder der Tiefendimension waren, erklären sich ganz einfach nach demselben Principe, nach dem sich die früher besprochenen Bewegungsnachbilder erklären. Wenn ich über die Netzhaut Linien hinziehen lasse, wenn ich die Netzhaut, so zu sagen, bürste mit Linien, dann bekomme ich eben immer das Nachbild von der entgegengesetzten Richtung. Nun liegt hier zwar thatsächlich eine Bewegung in der Tiefendimension vor, aber es wurde dabei doch eine Bürstung der Netzhaut hervorgebracht, und wenn man erwägt, welches Nachbild die seitliche Verschiebung der Linien im Netzhautbilde jedes Auges hervorrufen muss, so erkennt man auch, dass die binokulare Kombination dieser beiden Nachbilder notwendig in einer Scheinbewegung in der Tiefendimension von entgegengesetzter Richtung bestehen muss, wenn, wie in unserem Beispiele, dasselbe Objekt weiter fixiert wird, das durch seine Bewegung das Nachbild hervorgerufen hat.

Mit andern Worten: die Scheinbewegung in der Tiefendimension erklärt sich in den angeführten Fällen vollkommen aus den für jede Netzhaut isoliert bestehenden Scheinbewegungen in den senkrecht zu den Blicklinien stehenden Richtungen. Dass ich wenigstens ein wirkliches Nachbild der Tiefendimension nicht habe, geht aus folgendem hervor: Ich kann die genannte auf mich zu rückende Fläche mit ihren Liniensystemen noch so lange anblicken; wenn ich dann plötzlich auf ein gedrucktes Blatt Papier blicke, sehe ich nur eine Verschiebung desselben nach oben, entsprechend der Bürstung meiner Netzhaut, aber niemals eine Entfernung dieses Objectes. Mannigfache Variationen dieses Versuches ergaben immer dasselbe Resultat. Ich muss gestehen, dass ich diese Versuche unternahm im Glauben, Nachbilder für die dritte Dimension finden zu müssen. Das ist aber nicht der Fall gewesen, es gibt nur negative Nachbilder für die Verschiebung der Netzhautbilder, nicht aber für die Bewegung in der dritten Dimension. Der Laie weiß beim Anblicke der heranrückenden Fläche, oder der sich der Nase nähernden Speichen des Rades von nichts Anderem, als von einem Heranrücken; von einer Bewegung der Liniensysteme nach abwärts, der Speichen nach links für ein Auge nach rechts für das andere, weiß der Laie nichts. Und doch sieht er im Nach-



bilde beim Anblicke neutraler Objekte nur seitliche Verschiebungen und keine Spur einer solchen in der Tiefendimension. Die Alteration unseres Nervensystems, die zum Nachbilde führt, betrifft also nicht jene Organe, deren Reaktionen uns die Vorstellung der Tiefendimension erwecken, sondern erstreckt sich nur auf jene physiologischen Beziehungen, durch welche der Eindruck des Nebeneinander auf der Netzhaut gesichert ist. Mit andern Worten: zur Erklärung der beschriebenen Scheinbewegungen in der Tiefendimension reicht die Annahme aus, es habe nur jener Mechanismus unseres Nervensystemes durch die vorausgehende Betrachtung der bewegten Objekte eine Modifikation seiner Leistungen erfahren, welcher zunächst der flächenhaften Auffassung unseres Gesichtsfeldes dient; jener Mechanismus aber, dessen Spiel uns eine Bewegung in der Tiefendimension zum Bewusstsein führt (und von dem wohl der erste ein Teil sein dürfte) ist als Ganzes dieser spezifischen Modifikation nicht verfallen.

Auch noch auf andere Weise kann man scheinbar ein Bewegungsnachbild in der dritten Dimension bekommen. Herr Hofrath v. Brücke teilte mir folgende schon vor vielen Jahren von ihm gemachte Beobachtung mit. Wenn er im letzten Coupee eines Eisenbahnzuges fährt und nach rückwärts blickt, scheinen natürlich die Gegenstände von dem Beschauer zu fliehen; wenn der Zug stehen bleibt, scheinen sie an ihm heranzurücken. Auch das rührt, wie mir scheint, vom Verschieben der Bilder auf der Netzhaut her. Während des Fahrens zogen sich die Netzhautbilder zusammen; es wurden die Gegenstände kleiner, sie schrumpften; dann im Nachbilde kam die entgegengesetzte Bewegung, die Gegenstände schwellen, sie wurden größer. So glauben wir, dass wir uns ihnen nun nähern. Also auch in diesem Falle haben wir nur Nachbilder, insofern sich die Netzhautbilder auf der Netzhaut verschoben.

Damit, dass die hier in Rede stehenden Erscheinungen auf einer Alteration der Netzhaut, beziehungsweise ihrer zentralen Verbindungen beruhen, hängt es zusammen, dass die Schwelle für eine Bewegungsempfindung nennenswert hinaufrückt, wenn man keinen oder nur wenig ruhende Gegenstände im Sehfeld hat. Es hat sich Aubert davon folgendermaßen überzeugt. Er hat untersucht, wie rasch eine Bewegung sein muss, um sie als Bewegung noch unmittelbar zu empfinden. Das Resultat war, wie schon hervorgehoben, 1—2 Winkelgrade pro Sekunde. Nun hat er ein Kästchen vor das Auge gesetzt, welches ihm das ganze Sehfeld so vollständig zudeckte, als es möglich war, und er nichts sah, als das bewegte Objekt. Allerdings war so nicht zu vermeiden, dass er auch den Rand des Kästchens, wenn auch verschwommen, als ruhendes Objekt im Sehfeld hatte. Unter diesen Verhältnissen bekam er eine untere Schwelle für die Bewegungsempfindungen, die 10mal so groß ist, also ungefähr 10—20 Winkelgrade in der Sekunde. Es hängt damit die Beobachtung zusammen, auf welche Hering bei Besprechung der Bewegungsempfindungen

hinweist, dass man den Mond, wenn er hinter bewegten Wolken steht, den Wolken gegenüber bewegt, gleichsam wandern sehen kann. Man könnte noch hinzufügen, dass diese Täuschung um so leichter auftritt, je mehr Wolken vorhanden sind, d. h. je weniger Sterne als fixe Punkte am Himmel zu sehen sind, und je weiter der Mond von anderweitigen ruhenden Objekten entfernt ist. Man muss auf dieses Beispiel hin die Frage aufwerfen, wie ist es möglich, dass man sich darüber täuscht, dass der Mond ruht und die Wolken ziehen, da man ein so feines Gefühl für die Bewegung der Augenmuskeln haben soll. Wenn man den Mond fixiert, so sind die Augenmuskeln in Ruhe, wenn man aber die ziehenden Wolken fixiert, so dass das Auge den Wolken folgt, sind die Augenmuskeln in Aktion. Wie ist es möglich, dass wir uns über Ruhe und willkürliche Innervation so täuschen können? Es führt dies auf eine, ich möchte sagen dritte Art des Sehens von Bewegungen, die sich mit der ersten Art, die wir als Bewegungswahrnehmung bezeichnet haben, in gewissem Sinne deckt. Wenn man nämlich einen Vogel, der fliegt, mit dem Blicke fixiert, so verschiebt sich sein Bild auf der Netzhaut nicht, sondern wir folgen mit dem Blicke dem Vogel und, wie man gewöhnlich annimmt, ziehen wir aus den Innervations- und Muskelgefühlen, die wir bei der Fixierung des Vogels haben und aufwenden, einen Schluss auf die Geschwindigkeit, mit der sich der Vogel bewegt. Es ist klar, dass diese Art, zum Bewusstsein einer Bewegung zu gelangen, grundverschieden ist von der eben besprochenen. Es ist eben etwas ganz Anderes, ob sich ein Bild auf der Netzhaut verschiebt und die Augenmuskeln dabei in Ruhe sind, oder das Bild ruht und die Muskeln in Aktion stehen. Dabei ist es von vorn herein durchaus nicht selbstverständlich, dass man auf diese beiden Arten zu demselben Eindrücke der Geschwindigkeit gelangt, wenn die thatsächlichen Geschwindigkeiten dieselben sind. Ja es ist das nicht nur nicht selbstverständlich, sondern es ist nicht wahr, dass ein Gegenstand, wenn er fixiert wird, dieselbe Geschwindigkeit zu haben scheint, wie wenn sein Bild über die Netzhaut streift. E. v. Fleischl hat dies durch einen ebenso einfachen wie schlagenden Versuch nachgewiesen. Hat man die Trommel eines Kymographions mit senkrechten Linien versehen (z. B. durch Ueberspannung mit einer Schreibunterlage), lässt die Trommel so hinter einem Schirm rotieren, dass durch einen Ausschnitt desselben immer nur eine Gruppe von 8—16 Linien sichtbar ist, so bekommt man einen wesentlich andern Eindruck von der Geschwindigkeit der Bewegung, je nachdem man eine Linie bei ihrem Auftauchen mit dem Blicke erfasst und bis zu ihrem Verschwinden festhält, oder einen gewählten Punkt (z. B. einen in der Mitte des Ausschnittes angebrachten Stecknadelkopf) fixiert und so die Netzhaut durch die Bilder der Linien bürsten lässt. Nach v. Fleischl und andern, welche eine Schätzung versuchten, verhalten sich diese beiden

Geschwindigkeiten wie 1 : 2. Fixiert man den Nadelknopf, so erscheint die Geschwindigkeit zweimal so groß als im andern Falle.

Neuere Untersuchungen haben ergeben, dass auch im Falle dieser Bewegungswahrnehmung unter Intervention der Blickbewegungen die ruhenden Gegenstände, die sich im Schfelle befinden, eine ganz wesentliche Rolle mitspielen. Es scheint, dass wir nicht so sehr eine genaue Kenntnis von den Augenmuskelnervationen haben, durch welche wir dem Gegenstände mit dem Blicke folgen, als vielmehr, dass wir unsere Innervationen kontrollieren durch die Geschwindigkeit, mit der sich die Netzhautbilder der als ruhend bekannten Gegenstände infolge der Blickbewegung auf der Netzhaut verschieben. Dass dem so ist, geht aus Versuchen hervor, die gemacht wurden unter Ausschluss eines jeden als ruhend bekannten Objektes. Zuerst hat Budde<sup>1)</sup> einen derartigen Versuch gemacht, indem er sich unter einen Zylinder setzte, der 2 Meter im Durchmesser und 1,5 Meter Höhe maß und auf der Zimmerdecke aufgehängt war. Der Zylinder wurde in Rotation versetzt. Doch kam er, wie er sagt, zu keinem verlässlichen Resultate, da hier jede Sicherheit der Beurteilung von Ruhe und Bewegung aufhöre und sich ein Schwindelgefühl einstelle, in dem man unfähig sei verlässliche Beobachtungen zu machen. Seitdem haben Charpentier<sup>2)</sup> und Aubert<sup>3)</sup> analoge Versuche in anderer Weise ausgeführt. Sie haben sich hiezu ein dunkles Zimmer gewählt, in dem nichts sichtbar war außer einem hellen Objekte. Aubert benützte einen glühenden Platindraht. Ein Gehilfe im Nebenzimmer konnte von da aus diesen glühenden Platindraht in Bewegung setzen oder in Ruhe bringen und Aubert stellte sich die Aufgabe zu beurteilen, ob dieser Draht sich bewege oder nicht. Er kam zu dem Resultate, dass unter solchen Umständen die untere Schwelle für die Bewegungsempfindung gegen die früher angeführten Werte noch weiter um bedeutendes steigt, und dass relativ schnelle Bewegungen, die unter gewöhnlichen Verhältnissen eine prägnante Bewegungsempfindung veranlasst hätten, jetzt nur mit der äußersten Unsicherheit erkannt werden; dass man häufig urteilt, das Objekt bewege sich, wenn es sich nicht bewegt und umgekehrt. Woher mag dies rühren? Es dürfte wohl in folgendem seinen Grund haben. Wenn unter gewöhnlichen Verhältnissen ein paar Augenmuskeln nur um weniges ihren Tonus ändern, so gewahren wir das durch die Scheinbewegungen, welche die als ruhend bekannten Gegenstände machen, da ja infolge der eingetretenen Augenbewegung die Netzhautbilder derselben über die Retina streichen. Ist aber kein als ruhend bekanntes Objekt im Schfelle, so fällt jede Kontrolle dafür fort, ob die wahrgenommene Bewegung des Netzhautbildes auf un-

1) l. c.

2) Comp. rend. CII p. 1155.

3) l. c.

merklichen und unwillkürlichen Aenderungen in der Spannung der Augenmuskeln oder in der Bewegung des Objektes beruht. Man könnte dagegen einwenden, diese Scheinbewegungen treten auch auf, wenn man das ruhende Objekt kontinuierlich in der Fixation erhält, können also nicht von Augenbewegungen herrühren. In der That hat Charpentier aus diesem Grunde ihren Ursprung anderweitig gesucht. Ich glaube auch nicht, dass es sich ausschließlich um den Zustand der Augenmuskeln handelt, sondern dass alle Muskelgefühle, Haut- und Gelenkempfindungen, welche uns über die momentane Stellung der Augen des Kopfes und Rumpfes orientieren, dabei in betracht kommen. Es handelt sich bei diesen Scheinbewegungen um eine Desorientierung bezüglich des Verhältnisses irgendwelcher jener Empfindungen gegen die andern. Dabei spielt die Frage, ob wir das Objekt dauernd fixieren oder nicht, gar keine Rolle, denn wenn die Bulbi ohne unsern Willen, also wegen unbewussten Nachlassens des Tonus gewisser Muskeln, nach rechts abzuweichen im Begriffe stehen, so werden wir, bei dem Bestreben zu fixieren, dieselben willkürlich nach links drehen und den Eindruck haben, als würde sich das Objekt nach links bewegen, da wir eben diese Links-Aktion ausführen müssen, um die Fixation zu erhalten. Dasselbe gilt von allen andern in betracht kommenden Muskeln. Ich habe mich überzeugt, dass ein glühender Platindrath und sein Spiegelbild im vollkommen dunklen Raume (sie waren 5—10° von einander entfernt) immer die gleichsinnigen Scheinbewegungen ausführen. Auch Aubert hat solche gleichsinnige Bewegungen beobachtet.

Wir haben also zu unterscheiden 1) eine Bewegungswahrnehmung, bei welcher die Bewegung dadurch erkannt wird, dass wir den Gegenstand zu verschiedenen Zeiten an verschiedenen Orten im Raume, in verschiedenen lokalen Beziehungen zu den als ruhend bekannten Gegenständen sehen und 2) eine Bewegungsempfindung. Letztere beruht wahrscheinlich ausschließlich auf einem subkortikalen Vorgang innerhalb jener Zentralorgane, welche in ihrer Funktionsweise die Basis zur flächenhaften Anordnung der Netzhautindrücke abgeben, indem sich in ihnen, d. i. außerhalb des Bewusstseins, Prozesse nach bestimmten Gesetzen abspielen; Prozesse, welche die von den Sinnesorganen kommenden Erregungen zur Aufnahme in das Bewusstsein vorbereiten, und welche in Analogie stehen zu jener Verarbeitung der zentrifugalen motorischen Impulse, welche, wie eingangs hervorgehoben, in den subkortikalen Zentren gewisse Bewegungskombinationen vorgebildet antreffen und so die für die Erhaltung der Art und des Individuums wichtigsten und zweckentsprechendsten Aktionen, wie das Laufen, das Umstricken der Schlange u. s. w. wenigstens in ihren Hauptzügen von der augenblicklichen Disposition des Organs des Bewusstseins unabhängig machen.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1888-1889

Band/Volume: [8](#)

Autor(en)/Author(s): Exner Siegmund Ritter von Ewarten

Artikel/Article: [Ueber optische Bewegungsempfindungen. 437-448](#)