

einen räumlichen Schein, so liegt das Wesen nicht wie eine entsprechende Glastafel dahinter, in welche die Theilstriche rigten; es wird gar nicht getroffen. Die Zerstreuung seiner Theile an verschiedene Orte wird nur das Ganze seiner Beziehungen zu den übrigen Wesen ändern und dieser Vielfältigkeit seiner Verhältnisse wird die Vielköpfigkeit seiner Erscheinung entsprechen. Wer diese Vorstellung hier möglich findet, mag sie sich als ein substantielles Band, als eine Collectivpersönlichkeit denken, die in allen diesen theilbaren Organismen lebt und denselben Grad von Persönlichkeit oder vielmehr Unpersönlichkeit behält, mag man die Punkte ihrer Erscheinung vervielfältigen, wie man will. Das ganze Interesse dieser Abhandlung lag in der Betrachtung menschlicher Natur; daß wir in der Psychologie des Thierreiches, bei der Charakteristik von Entwicklungen, die unseren Zuständen so ganz unvergleichbar sind, auf Scheinbar so widersprechende Begriffe, wie jene, kommen, will ich nicht leugnen; aber hierauf weiter einzugehen, hindert die Rücksicht auf die große Frist, um welche dieses Unternehmen das Ende meiner Arbeit hinausrücken würde.

Eine vollständige Psychologie müßte folgende Aufgaben sich stellen und lösen: 1) Eine dialektische Ableitung der Phänomene des Seelenlebens und eine Interpretation ihrer idealen Bedeutung für die Gesamtheit des Sinnes der Welt. 2) Eine zugleich empirische, zugleich speculativ auslegende Betrachtung über die Entwicklungsstufen des Seelenlebens in der Thierwelt und dem menschlichen Geschlechte, zugleich mit Beantwortung der Frage nach den Grenzen des Reiches der Seele, verbunden. Man würde zu untersuchen haben, ob überhaupt ein Reales denkbar sei, dessen innere Natur nicht wesentlich psychisch wäre, so daß vielleicht alle Natur nur die äußerliche mechanische Gestaltung eines Reiches der Seelen und die concreten Geseze der Natur aus dem Wesen psychischer Wirkungen ableitbar würden. 3) Eine Darstellung der physikalischen und mechanischen Verhältnisse, an welche das Leben der Seele in unserer Beobachtung gebunden ist, Physiologie der Seele. 4) Eine Nachweisung, wie aus dem wesentlichen Inhalte der Idee jeder Seele die specifischen, für sie überall giltigen Geseze ihrer Wirkungen folgen; die Grundlegung einer Mechanik des geistigen Lebens, von der wenigstens zweifelhaft ist, ob sie für alle Geschöpfe die nämliche und nicht wenigstens durch bedeutend einwirkende specifische Coefficienten verschieden sein würde. 5) Eine Psychologie der Individualitäten, die bisher den Werken der Dichter überlassen blieb. 6) Eine nur mit Hilfe der höchsten Theile der Philosophie zu erreichende Begründung unserer Ahnungen über das Schicksal der Seelen im Ganzen der Welt. Von diesen Aufgaben ist nur die dritte der Gegenstand dieser Abhandlung gewesen; was ihr außerdem beigelegt wurde, hat nur Entschuldigung zu hoffen, sofern es zur Aufklärung des Uebrigen beitrug, muß sich aber dem Tadel entziehen, nicht mehr gesagt zu haben, als an gegenwärtigem Orte seine Pflicht war <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Ist es mir möglich, einen mir noch aufgetragenen Artikel über Methodologie und Aufgaben der allgemeinen Physiologie auszuführen, so werde ich darin durch möglichst vollständige Besprechung der hier kurz berührten naturphilosophischen Verhältnisse die bisher von mir gelieferten Artikel zu einem Ganzen abzurunden suchen.

# S e h e n.

## I. Allgemeine Vorbemerkungen.

Wir sehen bei hinreichendem Lichte die Dinge in ihren eigenthümlichen Formen und Farben und sehen bei mangelndem Lichte dies Alles nicht, sondern empfinden nur die Finsterniß, welche, nach dem gewöhnlichen Ausdrucke, uns umgiebt. Dieser Ausdruck ist insofern unpassend, als die Finsterniß weder selbst ein Ding, noch eine Eigenschaft der Dinge sein kann. Wenn wir bei Tage die Augen schließen, so verschwindet das erleuchtete Gesichtsfeld und macht einem Schattenfelde Platz, welches der Gestalt und Lage nach ihm gleich kommt. Wenn in Folge von Apoplexie Halbsichtigkeit eintritt, so wird nicht nur das Sehfeld im Hellen um die Hälfte kleiner, sondern auch das Schattenfeld im Dunkeln, wir erblinden also, wie für das Licht, so auch für die Finsterniß. Demnach ist absolute Dunkelheit nicht Negation des Sehens, sondern ein Sehen eigener Art, sie beruht auf einer Gesichtsempfindung, in welcher das Sehorgan, bei Abwesenheit des Lichtreizes innerlich fortlebt.

Auch Licht und Farben, nämlich so weit wir sie durch den Gesichtssinn kennen, sind lediglich Producte der organischen Thätigkeit unseres Auges, nicht Qualitäten der Außenwelt. Zwar haben dieselben einen objectiven Grund, denn das Licht ist ein Agens, welches das Blattgrün entwickelt, welches das salpetersaure Silber zersetzt u. s. w.; aber ihr Objectives, die Oscillationen des Aethers, ist dem Lichte, welches wir sehen, gar nicht vergleichbar, und was wir als empfindende Wesen Licht und Farbe nennen: das Rothe, Blaue, Gelbe u. s. w., dies Alles sind Schöpfungen des Auges, und würden ohne dasselbe gar nicht existiren.

Der Beweis für die Richtigkeit dieser Ansicht ist leicht zu führen. Licht und Farbenbilder entstehen nicht bloß in Gegenwart leuchtender Objecte, sondern unter dem Einflusse der verschiedensten Reize, welche das Sehorgan treffen. Schon ein Druck auf den Augapfel reicht aus, eine Lichterscheinung hervorzurufen, Elektrisiren des Sehnerven, Entzündung der Netzhaut, Congestion nach dem Gehirne leisten dasselbe. In vielen Fällen gehen also die Reize, welche Gesichtserscheinungen vermitteln, gar nicht von äußeren Dingen aus, sondern von inneren Theilen, welche durch ihre Thätigkeit das Sehorgan zu selbststehigen Wirkungen veranlassen. Als bekanntes Beispiel dienen die Traumgesichte, deren Identität mit Gesichtsphänomenen um so weniger verkannt werden kann, als sie bei vielen Menschen, kurz nach dem Erwachen, noch eine Zeit lang mit voller Deutlichkeit der Färbung fort dauern. Nicht minder beweisend ist das Abklingen der Farbenbilder, das Auftreten



von Complementärfarben, die Unfähigkeit so vieler Menschen, gewisse Farben zu unterscheiden u. s. w.; denn alle derartigen Verhältnisse lassen keinen Zweifel übrig, daß Licht- und Farbenempfindungen die Ausdrücke innerer Zustände, nicht Abdrücke äußerer Qualitäten sind.

Die Licht- und Farbenempfindungen enthalten also gar keine Aussage über die Natur der Dinge, dessenungeachtet betrachten wir sie als solche und tragen den Inhalt unserer Empfindung als Eigenschaften auf die Dinge über. Es ist wichtig, sich klar zu werden, daß wir es hier nicht mit einem vereinzelter Factum zu thun haben, sondern mit einem solchen, welches sich in unserem Sinnenleben unablässig wiederholt. Nie empfinden wir das Ding, ja wir empfinden im Grunde nicht einmal den Zustand unserer eigenen afficirten Leiblichkeit, sondern die Empfindung hat sich selbst zum Inhalte. Das afficirte Organ ist die eine ihrer Ursachen, das afficirende Ding die andere, und so unzweifelhaft es ist, daß zwischen Empfindung, als Folge, und Object, als einer der Bedingungen, eine nothwendige Beziehung stattfindet, so unberechtigt ist das Verlangen, daß die Qualität der Empfindung und des Objectes zusammenfallen.

Nach dieser allgemeinen Erörterung ist kaum nöthig, zu bemerken, daß auch die gesehene Größe ein Subjectives sei. Der Beweis beruht aber nicht darauf, daß das Netzhautbildchen kleiner sei, als der Gegenstand, den es darstellt, sondern darauf, daß die Größe, als Anschauung, mit der Größe, als äußerlich Existirendem, gar kein gemeinsames Maß hat.

Wie zum subjectiven Sehen die Gegenwart eines leuchtenden Objectes entbehrlich ist, so ist in solchen Fällen nicht einmal die Mitwirkung des äußeren Auges nothwendig. Auch Blinde, ja selbst Personen, welche die Augen ganz verloren haben, sehen aus inneren Gründen farbige Bilder. Andererseits ist bekannt, daß Hirnverletzungen oft plötzliche Blindheit veranlassen. Vor Allem geschieht dies bei Zerstörung der Theile, von welchen die Sehnerven entspringen, doch zeigen die Versuche von *Flourens*, daß auch Entfernung größerer Theile der Hemisphären sehr häufig Blindheit nach sich zieht, während andere Sinnesfunctionen noch fortbestehen. Gewiß ist also, daß der wesentlichste Theil des Sehorganes im Gehirne liege. Der Augapfel, mit seinen brechenden Medien, hat die Aufgabe, ein Bild des äußeren Objectes darzustellen, die Netzhaut und der Sehnerv werden von diesem Bilde zu einer Lebensthätigkeit erweckt, welche von außen nach innen fortschreitet, bis sie schließlich auch das centrale Sehorgan zu Lebensactionen anregt, und erst die Function dieses inneren Organes schafft die Gesichtserscheinung oder ist selbst Gesichtserscheinung <sup>1)</sup>.

Diese etwas weitläufige Schilderung des Herganges dürfte den Vortheil haben, den durchaus subjectiven Boden des Sehactes vollkommen verständlich zu machen. Vielleicht hat sie noch überdies den Vortheil, gewissen Mißverständnissen zu begegnen, welche über die specifische Energie der Sinnesnerven im Schwunge sind.

Man sagt, das Sehen sei die eingeborene Thätigkeit der Sehnerven, welche durch jeden Reiz, gleichviel welchen, geweckt werde. Nie könne ein Reiz eine andere Thätigkeit, als eben die erwecken, für welche der Sehnerv

<sup>1)</sup> Dieses »Entweder Oder« kann hier nicht weiter untersucht werden, da die Auflösung des Zweifels nur in den Tiefen der Psychologie möglich ist. Unleugbar bedürfen die Seelenthätigkeiten noch eines Substrates, von welchem sie ausgehen; aber fraglich ist, ob dieses Substrat, wie für die übrigen Lebensthätigkeiten, der Organismus selbst, oder vielleicht eine mit dem Organismus verbundene immaterielle Seele ist.



von vorn herein construirt sei, und nie könne Lichtreiz in einem andern Nerven, als dem N. opticus Gesichtsempfindungen hervorrufen, weil die Thätigkeit des Sehens eben nur diesem als seine spezifische zukomme.

Zunächst ist klar, daß die spezifische Energie auf keinem Falle dem Nerv. opticus, sondern höchstens dem inneren Sehorgane zugeschrieben werden könne; denn nicht jener functionirt durch Gesichtsempfindungen, sondern dieses. Nun sind aber alle Erfahrungen über die spezifische Function am Sehnerven selbst angestellt, also gar nicht an dem Theile, dessen spezifisches Wirken in Frage kommt. Man sagt, Reizung des Sehnerven erzeuge nur Lichtempfindungen, nicht Schmerzen: wäre dies wahr (was Häser nach eigenen Beobachtungen in Zweifel stellt), so wäre es doch nur etwas Zufälliges. Associirt sich doch die Erregung der Sehnerven sogar mit motorischen Thätigkeiten, wie die Bewegung der Pupille ausweist. Man darf nicht einwerfen, daß es sich um associirte Functionen nicht handle, sondern um die dem gereizten Theile immanentes; denn das Sehen ist ja ebenso wenig, als die Bewegung der Pupille etwas dem Sehnerven Immanentes. Giebt man zu, was zugegeben werden muß, daß das Sehen nur eine an die Leitungsthätigkeit des Sehnerven associirte Function ist, so wird man auch zugeben müssen, daß wir von einer spezifischen Verrichtung dieses Nerven gar nichts wissen. Prüfen wir von diesem Standpunkte aus die weitere Behauptung, daß nur der Sehnerv durch elementares Licht zum Sehen gereizt werden könne, so liegt das Problematische derselben sogleich am Tage. Daß Lichtempfindungen nicht bloß durch Erregung des N. opticus, sondern auch durch Reizung anderer Nerven und Nervenfasern erweckt werden können, ist unbestreitbare Thatsache. Nicht nur Weber's merkwürdige Beobachtung, daß ein elektro-magnetischer Strom, welcher durch die Wangen geleitet wird, eine Lichtempfindung an der gereizten Stelle hervorruft, beweist dies, sondern die Träume, welche von allen Punkten des sensiblen Systemes aus erregt werden können, die Lichtempfindungen bei Congestion nach dem Gehirne u. s. w. sagen dasselbe. Erwecken aber außer den Fasern des Sehnerven auch noch andere durch ihre Thätigkeit den Sehsact, so bleibt nur die Frage übrig, ob diese anderen Fasern ebenso, wie die des Sehnerven, durch elementares Licht erregbar sind. Hierbei handelt es sich nicht um eine spezifische Thätigkeit, sondern um die allgemeinste aller Nerven, um die Leitung, es handelt sich um das Vermögen der centripetalen Faser, einen Impuls am peripherischen Ende aufzunehmen und am centralen wieder abzugeben. Nichts in der Welt berechtigt uns, jene Frage zu verneinen; und wenn auch die Erfahrungen, welche Lichtempfindungen mit Hilfe der Tastnerven bei niederen Thieren und Somnambülen beweisen sollen, vielleicht als unzureichend bezeichnet werden müssen, so steht ihnen doch von Seiten der organischen Möglichkeiten nicht das Mindeste entgegen.

Während Empfindung des Lichtes auch ohne die Gegenwart von Augen möglich ist, bedarf das gegenständliche Sehen das Vorhandensein eines optischen Apparates. Die Erzählungen von einem Lesen der Somnambülen mit den Fingerspitzen oder dem Magen halte ich, wie Joh. Müller, für Märchen. Die räumliche Anordnung der Theile eines gesehenen Objectes hängt ab von der räumlichen Anordnung der Theile des empfindenden Organes. Nur wenn die beleuchteten Punkte des Netzhautbildchens in derselben Ordnung neben einander liegen, als die leuchtenden Punkte des Gegenstandes, erhalten wir conforme Anschauungen; daher verzerrt sich beim Sehen durch schlechtgeschliffene Gläser gleichzeitig mit dem Netzhautbilde auch das Bild in der Empfindung. Wenn aber schlecht gesammeltes Licht unrichtige Bilder



bedingt, so ist anzunehmen, daß Licht, welches gar nicht gesammelt wurde, gar keine Bilder gebe.

Zu den wichtigsten Vorfragen, welche uns hier beschäftigen können, gehört die, wo im Leben des Auges die reine Sinnenthätigkeit aufhöre und wo die Vorstellung und das Urtheil beginne. Im Allgemeinen sind wir geneigt, die Grenze der Empfindung zu weit zu stecken und manche Erkenntnisse vom einfachen Sehacte abzuleiten, welche complicirter Art und nur unter Mitwirkung sehr verschiedener Organe zu erwerben sind.

Die Beobachtungen an Blindgeborenen, welche durch eine Operation plötzlich sehen lernen, zeigen, wie viel beschränkter die Sphäre der Gesichtswahrnehmungen ist, als dem ersten Anblicke nach scheinen möchte. Den interessantesten Fall der Art hat Dr. Franz beschrieben, welcher einem blindgeborenen, aber intelligenten jungen Manne von achtzehn Jahren das Gesicht schenkte und die Gelegenheit benutzte, sehr zweckmäßige Experimente anzustellen<sup>1)</sup>. Der junge Mann erkannte zwar gewisse einfache Formen, wie Vierecke und Kreise, ohne vorläufige Betastung, aber er erkannte sie nicht augenblicklich, sondern mußte erst nachdenken. Er gab an, daß er bei seinen Urtheilen ein gewisses Gefühl, welches gleichzeitig in den Fingerspitzen entstehe, mit zu Rathe ziehe. Bei einer etwas seitlichen Ansicht eines Würfels und einer Pyramide sagte er aus, daß er diese Figuren nicht verstehe. Er konnte eine Kugel von einer Scheibe und einen Würfel von einem Vierecke nicht unterscheiden. Entfernte Gegenstände schienen ihm so nah, daß er vorsichtig vermied, an sie anzustoßen; auch wunderte er sich, die Objecte viel größer zu sehen, als er dem Gefühle nach erwartet hatte. Die Augen des Operirten waren stark nach Innen gerichtet, und mit dieser fehlerhaften Augenstellung lernte er sehen. Später wurde auch der Strabismus mit Glück operirt, und nun sah der junge Mann mit dem linken ausschließlich zum Sehen geeigneten Auge alle Gegenstände in falscher Richtung, nämlich Alles zu weit rechts, bis im Laufe der Zeit, mit Hilfe eingesammelter Erfahrungen, auch dieser Irrthum berichtigt wurde.

Diese Thatsachen sind äußerst wichtig und dürften manche Streitfragen entscheiden, über welche sich die Physiologen bis auf die letzten Zeiten nicht vereinigen konnten. Sie zeigen namentlich, daß die stereometrischen Verhältnisse, die Entfernung und die Richtung der Gesichtsobjecte nicht auf den ersten Anblick erkannt werden, Beweis genug, daß die Erkenntniß dieser Verhältnisse nicht ausschließlich von den Gesichtsempfindungen ausgeht, sondern die Mitwirkung noch anderer Thätigkeiten, und namentlich das Urtheil in Anspruch nimmt.

## II. Bau des Auges.

In der Voraussetzung, daß ein anatomisch-physiologisches Werk, wie das Vorliegende, von ganz Unkundigen überhaupt nicht gelesen werde, unterlasse ich es, die Anatomie des Auges im Zusammenhange zu schildern, und hebe nur einzelne Momente hervor, welche auch für den Sachkenner von Belang sind.

Nach den neueren mikroskopischen Untersuchungen besteht die Retina aus vier Schichten, welche von außen nach innen in nachstehender Ordnung aufeinander folgen. 1) Die Jacob'sche Haut, aus durchsichtigen Cylindern oder Stäbchen

<sup>1)</sup> Philosophical Transact. for the year. 1841.

bestehend, welche senkrecht auf den tiefer liegenden Schichten der Netzhaut aufliegen. Ihr loser Zusammenhang mit dem Sehnerven und mit der übrigen Netzhaut, ihre ganz eigenthümlichen Reactionen gegen Essigsäure und Wasser und ihr verhältnißmäßig beträchtlicher Durchmesser unterscheiden sie von den Fasern des Sehnerven zu auffallend, als daß sie für Elemente desselben gelten könnten. 2) Eine Schicht von kleinen Kugeln, welche von einigen Forschern für Ganglienkugeln gehalten werden. Bidder, welcher den mikroskopischen Bau der Netzhaut so sorgfältig studirt hat, erkennt diese Elemente nicht als Zellen an, leugnet die Gegenwart von Kernen in denselben und betrachtet sie als Fettkügelchen. (Nach kürzlich eingegangenen brieflichen Mittheilungen.) 3) Eine Schicht Nervenfasern, welche von der Eintrittsstelle des Sehnerven an sich radienförmig ausbreiten und parallel an der concaven Seite der Körnerschicht nach vorn verlaufen. Nirgends sieht man freie Faserenden, welche kaum verborgen bleiben könnten, wenn sie vorhanden wären <sup>1)</sup>. Dagegen haben zuverlässige Beobachter, wie Bidder und Krause, Schlingen wahrgenommen, vorzugsweise in der vorderen Hälfte der Netzhaut. Nach Krause messen die Fibrillen höchstens 0,00010" im Diameter. 4) Die innerste Schicht der Netzhaut besteht wieder aus Kugeln, welche von Einigen ebenfalls für Nervenlemente, von Anderen für Epithelium gehalten werden.

Genau im Nervenpunkte der Netzhaut, wo die Empfindung am schärfsten ist, findet sich ein gelber Fleck, welcher von einer Falte wulstartig umgeben, aber nicht, wie man früher meinte, perforirt ist. Nach Krause soll die Fibrillenschicht an dieser durchsichtigen und äußerst dünnen Stelle ganz fehlen, was indeß von Michaelis, Langenbeck, Huschke und Gottsche bestritten wird und aus physiologischen Gründen unwahrscheinlich ist. Bestätigte sich die Angabe Krause's dennoch, so enthielte sie den ersten Beweis, daß auch die Kugeln leiten.

Der Sehnerv hat an der Eintrittsstelle in's Auge einen Durchmesser von  $\frac{3}{4}$ " oder eine Durchschnittsfläche von 0,44 Quadratlinien. Rechnen wir die Dimension der inneren Augenachse zu 10", und nehmen an, die Retina erstrecke sich nur bis an den hinteren Rand des Ciliarfranzes, dessen Durchmesser nach Krause 4,5" beträgt, so wäre die Fläche der Netzhaut =  $297,35 \square''$  und überträfe die Durchschnittsfläche des Sehnerven um das Sechshundertfache. Hieraus ergibt sich der Antheil, den durchschnittlich jede Faser des Sehnerven an der Bildung der Netzhaut hat. Offenbar muß jede Faser mit einem beträchtlichen Theile ihrer Länge (nicht bloß mit einem Endpunkte) an der Innenfläche der Netzhaut zu Tage liegen, und die Länge dieses Theiles muß den Durchmesser der Faser um das Sechshundertfache übertreffen. Diese mathematisch gerechtfertigte Betrachtung ist mit den mikroskopischen Untersuchungen in Uebereinstimmung. Betrachtet man ein Stück Netzhaut aus dem Hintergrunde des Auges bei ansehnlicher Vergrößerung, so sieht man die Fibrillen in ansehnlichen Strecken parallel neben einander verlaufen, während freie Enden nicht vorkommen.

Von vorzüglicher Wichtigkeit in einem optischen Instrumente, wie das Auge, sind die Formen und Dimensionen der brechenden Medien. Eine sehr ausführliche Zusammenstellung der von verschiedenen Beobachtern gewonnenen Resultate findet sich in Treviranus' Beiträgen zur Anatomie und Physiologie der Sinnesorgane Seite 22; allein zuverlässiger als alle jene Angaben

<sup>1)</sup> Nur Hannover versichert, im vorderen Theile der Netzhaut freie Enden bemerkt zu haben. Müller's Arch. 1840.



scheinen jene von Krause, welcher seine Messungen mit Hilfe einer sehr verbesserten Methode angestellt hat <sup>1)</sup>. Im Folgenden gebe ich einen Auszug seiner Arbeit, wobei ich mir erlaube, ein paar besonders wichtige Dimensionen, welche von ihm nicht direct gemessen wurden, aus seinen wirklichen Beobachtungen zu berechnen <sup>2)</sup>.

	Nach pariser Linien.		
	Maximum.	Minimum.	Mittel.
1) äußere Augenaxe . . . . .	10,5	11,0	10,75
2) innere Augenaxe . . . . .	9,4	10,0	9,7
3) äußerer Querdurchmesser . . . . .	—	—	10,5
4) Entfernung des vordersten Punktes der Hornhaut vom Arenpunkte der Netzhaut . . . . .	—	—	10,20
5) Entfernung des Mittelpunktes des Sehnerven vom Arenpunkte der Netzhaut . . . . .	—	—	1,5
6) Dicke der Hornhaut in der Mitte . . . . .	—	—	0,4
7) Dicke der Hornhaut am Rande . . . . .	—	—	0,5
8) Sehne der Hornhautkrümmung . . . . .	5,0	5,2	5,1
9) Radius der vorderen Hornhautkrümmung . . . . .	3,66	4,33	4,0
10) Parameter der hinteren parabolischen Krümmung der Hornhaut . . . . .	5,25	6,2	5,72
11) Axe der Linse . . . . .	1,8	2,4	2,1
12) Querdurchmesser der Linse . . . . .	4,0	4,5	4,25
13) Entfernung des hintersten Punktes der Linse vom Arenpunkte der Netzhaut . . . . .	5,4	6,3	5,85
14) Entfernung des hintersten Punktes der Linse vom vordersten der Hornhaut . . . . .	—	—	4,40
15) Entfernung des vordersten Punktes der Linse vom Centrum der Pupille . . . . .	0,1	0,15	0,12
16) Durchmesser des Ciliarringes . . . . .	4,2	4,6	4,4

Sehr große Schwierigkeit macht die Formbestimmung der brechenden Medien. Die früheren Forscher glaubten überall sphärische Formen zu finden, aber ihre Angaben beruhen meistens auf wenig zuverlässigen Beobachtungen. Krause untersuchte das Auge bei geringer Vergrößerung unter dem Mikroskope, während sich im Oculare ein Glasmikrometer befand, dessen Linien als Ordinaten zur Bestimmung der Curven benutzt werden konnten. Bei diesen Untersuchungen ergab sich die vordere Krümmung der Hornhaut als sphärisch, die hintere Fläche als parabolisch. Die vordere Fläche der Linse war nach einer Ellipse gekrümmt, deren große Axe 4''' bis 4,1''' und deren kleine Axe 1,66''' bis 2,25''' maß. Die hintere immer weit stärker gewölbte Fläche ergab eine parabolische Krümmung von 3,8''' bis 5''' Parameter.

Aber selbst die sorgfältigen Untersuchungen von Krause können nicht auf mathematische Genauigkeit Anspruch machen, namentlich da nicht, wo die Krümmungsoberflächen von Theilen bestimmt werden, deren vorläufige Durchschneidung unvermeidlich war. Ferner wurden bei den Messungen zwar möglichst frische Augen, aber nach dem Eingeständniß des Verfassers doch erst 18 bis 48 Stunden nach dem Tode benutzt. Bekanntlich treten sichtliche Formveränderungen der Hornhaut schon früher ein.

Mein trefflicher College Senff in Dorpat bestimmte die vordere Horn-

<sup>1)</sup> Meckel's Archiv. 1832. S. 86.

<sup>2)</sup> In dieser Weise berechnet sind die Dimensionen unter Nr. 4 und 14.

hautkrümmung am lebenden Menschen. Die zur Beobachtung bestimmte Person mußte sich einem Fenster gegenübersehen, auf dessen einer Scheibe zwei Streifen schwarzes Papier befestigt waren. Die Distanz der letzteren im Spiegelbildchen der Hornhaut, wurde mit einem Kommetensucher beobachtet, und bei verschiedenen Stellungen des Auges mikrometrisch gemessen. An jedem Auge wurde die Messung an 7 Punkten ausgeführt, deren Winkelabstand von der optischen Ase —  $25^{\circ}$ , —  $20^{\circ}$ , —  $10^{\circ}$ ,  $0^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$  betrug, wobei sich ergab, daß in einem Winkelabstande von  $30^{\circ}$  das Bildchen zu un- deutlich zur Messung wurde. Die Berechnung ergab, daß die Form der Hornhaut eine elliptische ist, wie sich aus folgender Tabelle ergibt:

	Halbe Ase der Ellipse.	Krümmungs- halbmesser im Scheitel.	Abweichung des Schei- tels der Ellipse vom Endpunkte der Augen- ase in Winkelgraden.
Rechtes Auge in vertika- ler Richtung . . . . .	4,190 und 3,805	3,455	$3^{\circ},6$ nach unten.
Rechtes Auge in horizon- taler Richtung . . . . .	4,626 und 3,998	3,456	$2^{\circ},9$ nach außen.
Linkes Auge in vertikaler Richtung . . . . .	3,984 und 3,699	3,434	$1^{\circ},6$ nach unten.

Senff läßt vorläufig dahingestellt, ob die eigenthümliche Erscheinung, daß der Scheitel der Ellipse nicht in den Endpunkt der optischen Ase fällt, eine Unregelmäßigkeit des übrigens gutsehenden Auges war, oder auf einem allge- meinen Geseze beruhe <sup>1)</sup>.

### III. Beziehungen zwischen Structur und Function.

#### A. Netzhaut.

Die Netzhaut ist der sensible Theil im Auge, oder genauer: sie ist der Anfang des Leitungsapparates, welcher die, vom elementaren Lichte ausgehen- den Reize dem Centralorgane zuführt. Dies beweist schon der anatomische Zusammenhang der Retina mit dem Sehnerven, dessen Function als Lichtleiter nicht in Zweifel gestellt werden kann, noch entschiedener aber die Erfahrung, daß jede partielle Unterbrechung der Netzhautfläche eine entsprechende Unterbrechung der Leitung nach sich zieht. So verursacht der Eintritt der arteria centralis retinae eine Lücke in der Netzhaut, und gleichzeitig einen Defect im Gesichtsfelde, der sich nicht etwa durch Wahrnehmung eines Loches, sondern durch absolute Unempfindlichkeit bemerklich macht. Wenn man auf einem Bogen Papier drei farbige Punkte anbringt und diese in Zwi- schenräumen von etwa 1 Zoll in eine horizontale Linie ordnet, so ist es leicht, sich von der Gegenwart einer solchen unempfindlichen Stelle in der Netzhaut versuchsweise zu überzeugen. Man halte das Papier etwa  $16''$  vom linken Auge entfernt, fixire, während nur dieses geöffnet ist, den am weitesten nach rechts liegenden Punkt und nähere dann ganz allmählig das Papierblatt. Unter diesen Umständen verschwindet zuerst der am weitesten nach links liegende

<sup>1)</sup> So eben finde ich bei Huschke (Lehre von den Eingeweiden und Sinnesorga- nen. S. 669.), daß schon Herchel angegeben, daß der Scheitel der Ellipse nicht in der Sehaxe, sondern  $10^{\circ}$  (?) nach innen liege.



Punkt, beim Näherrücken des Papiers taucht er im Gesichtsfelde wieder auf und wenig später verschwindet der zweite Punkt. Immer verschwindet der Punkt, welcher der Berechnung nach auf die Mitte des Sehnerven fällt. Dieser von Mariotte zuerst ausgeführte Versuch gab eine Zeit lang zu dem Irrthume Anlaß, daß der Sehnerv nicht als Leiter des Lichtreizes fungire, aber schon Rudolphi stellte die Hypothese auf, daß das Verschwinden der farbigen Punkte durch das Auffallen des Lichtes auf die unempfindliche Arterie herühren möge, und diese Hypothese ist durch Versuche von mir bestätigt worden. Nach demselben Principe, welches die Größe des Netzhautbildchens für ein gegebenes Object zu berechnen gestattet, kann man durch Rechnung nachweisen, wie groß die empfindungslose Stelle sein müßte, welche einen Punkt von gegebener Größe und bekannter Entfernung der sinnlichen Wahrnehmung entzieht. Mit Hilfe dieser untrüglichen Methode läßt sich nachweisen, daß nicht der Sehnerv im ganzen Durchmesser, sondern nur eine kleine Stelle, welche ungefähr dem Querschnitt der Arterie entspricht, des Leitungsvermögens beraubt ist.

Während die Function der Netzhaut im Ganzen unzweifelhaft ist, sind die Functionen ihrer einzelnen Schichten noch sehr unklar. Nicht füglich zweifeln kann man, daß die zweite Schicht von innen, die Faserschicht, der Leitung diene, denn sie ist es, welche in die Fasern des Sehnerven direct übergeht, wie namentlich am Kaninchenauge leicht nachweisbar ist. Ob die beiden Kugelschichten Antheil am Leitungsproceß haben, wäre es auch nur in der Weise, daß sie durch den Einfluß des Lichtes in Zustände versetzt werden, welche für die leitenden Fasern als intermediäre Reize dienen, ist vollkommen unbekannt, ja man weiß nicht einmal mit Sicherheit, ob diese Gebilde dem Nervengewebe angehören oder einem andern. Was die Stäbchenschicht anlangt, so hat Brücke wahrscheinlich zu machen gesucht, daß ihre Bestimmung dahingehe, das durch die Netzhaut hindurchdringende und von der Aderhaut nur unvollkommen absorbirte, folglich von hier zur Netzhaut reflectirte Licht auf dieselben Nerven-elemente zurückzuführen, durch welche es primär seinen Weg nahm <sup>1)</sup>. Brücke meint nämlich, daß nur, wenn die reflectirten Strahlen den einmal eingeschlagenen Weg festhalten, eine Confusion der Empfindung vermieden werden könne. Es will mir scheinen, daß gerade dieser Fundamentalsatz der mit Eleganz behandelten Hypothese noch einige Schwierigkeiten mache. Die Netzhaut hat im Hintergrunde des Auges einen verhältnißmäßig ansehnlichen Durchmesser, indem hier noch viele Fasern übereinander liegen, welche später erst sich neben einander lagern. Dringt hier der Lichtstrahl durch die Netzhaut, so trifft er unvermeidlich verschiedene Elemente. Es scheint mir also die Physiologie nicht so wohl einer Hypothese zu bedürfen, wie der Durchtritt des Lichtstrahls durch verschiedene Elemente vermieden werde, als vielmehr einer Erklärung, warum trotz der Reizung verschiedener Fasern durch einen Lichtstrahl eine Verwirrung der Gesichtsempfindungen nicht stattfindet.

#### B. Von den Schutzhäuten des Auges.

Die Aderhaut (tunica choroidea) besteht zum großen Theil aus einem sehr dichten Netze zarter Blutgefäße. Die von diesen Gefäßen ausgehende Wärme muß sich den benachbarten Organen mittheilen, und R. Wagner's Hypothese, daß die Aderhaut schon in diesem Bezuge als Schutzorgan des Auges fungire, dürfte, für die warmblütigen Thiere wenigstens, ganz zulässig

<sup>1)</sup> Müller's Archiv, 1844. S. 444.



scheinen. An ihrer inneren Seite ist die Choroidea mit unregelmäßig gestalteten Zellen bedeckt, welche in einer durchsichtigen Membran einen deutlichen Kern und überdies unmeßbar kleine Körnchen einer schwarzen Substanz enthalten. Diese Pigmentschicht giebt der Aderhaut nach innen ein schwarzes sammetartiges Ansehn und befähigt sie, die Lichtstrahlen aufzufangen, welche durch die zarte Netzhaut hindurchdringen. Das Auge der Rakerlaken, welches der schwarzen Pigmentschicht entbehrt, exträgt eben deshalb ein helles Licht weit weniger und liefert hiermit den Beweis, daß die schwarze Pigmentschicht zur Auffangung des durchfallenden Lichtes bestimmt sei.

Die weiße Augenhaut (*tunica albuginea s. sclerotica*) und die Hornhaut (*tun. cornea*) bilden die äußere Augenkapsel, welche durch ihre Festigkeit wiederum den inliegenden edleren Theilen zum Schutze dient. Nebenbei bestimmen diese Häute die so wichtige Form des Auges und gewähren den Muskeln Anheftungspunkte.

### C. Von den Augenmuskeln.

Die vier geraden und die zwei schiefen Augenmuskeln, welche der Mensch besitzt, erhalten sämmtlich Zweige vom 3ten Nervenpaare, und können, nach Analogie meiner an Säugethieren angestellten Experimente, wahrscheinlich von jenem Nervenpaare in Bewegung gesetzt werden. Es ist daher vorläufig ganz unverständlich, weshalb der obere schiefe und der äußere gerade Augenmuskel noch besondere Nerven erhalten, jener das vierte Paar und dieser das sechste.

Die Hauptbewegungen des Auges kommen um 3 Axen zu Stande, und erfordern eben deshalb 3 Muskelpaare. Der äußere und innere gerade Augenmuskel bewegen das Auge um eine Axe, welche von oben nach unten durch den kugelförmigen Bulbus dringt, der obere und untere gerade Augenmuskel bewegen denselben um seine Queraxe und die anatomische Lage der mm. obliqui bringt es mit sich, daß sie das Auge um eine Axe drehen, welche annäherungsweise von der Eintrittsstelle des Sehnerven durch das Centrum des Auges zum äußersten Punkte der Iris geht. Diese Axe schneidet sich demnach unter einem ziemlich spitzen Winkel mit der Sehaxe. Abstrahiren wir also von dem Mangel an Coincidenz beider, so würde in Folge der Thätigkeit des oberen schiefen Augenmuskels der Bulbus wie ein rollendes Rad, dem Auge der anderen Seite zu rollen, während Zusammenziehung des unteren schiefen Augenmuskels eine Bewegung im entgegengesetzten Sinne erzeugen müßte.

Nach Hueck's schöner Entdeckung kommen solche Bewegungen unwillkürlich zu Stande, sobald wir den Kopf seitwärts nach einer Schulter neigen. Hiervon kann man sich leicht überzeugen, wenn man vor dem Spiegel ein Blutgefäßchen der Conjunctiva (beispielsweise ein horizontal verlaufendes) fixirt und den Kopf nach einer Seite biegt. Bei diesem Experimente sollte die Ader aus der horizontalen Lage in eine schiefe übergehn, statt dessen behält sie ihre wagerechte Richtung, was offenbar unmöglich wäre, wenn nicht eine Axendrehung des Bulbus der seitlichen Drehung des Hauptes entgegenwirkte. Stellt man die Beobachtung an einem Menschen an, dessen Iris durch farbige Streifen ausgezeichnet ist, so kann man sich durch scharfe Fixation solcher Merkmale überzeugen, daß die Rotation nicht um die Axe der schiefen Augenmuskeln, sondern um die optische Axe zu Stande kommt. Die Iris dreht sich ganz deutlich um den Mittelpunkt der Pupille, was nur dadurch erklärlich ist, daß die Fixation der Augenaxe durch die geraden Augenmuskeln nur eine Drehung um diese zuläßt.

Einige Schriftsteller haben auch die Stellungen des Augapfels, welche



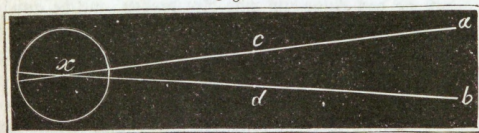
zwischen den vier Hauptrichtungen nach oben, innen, unten und außen in der Mitte liegen, also beispielsweise das Wälzen des Augapfels nach außen und oben, von den schiefen Muskeln abgeleitet, aber mit Unrecht. Bei Durchführung dieser Bewegungen fehlen alle Spuren der Rotation um die Längsaxe gänzlich. Auch sind die mm. obliqui hier ganz überflüssig, da jede solche Bewegung sich wie die Diagonale im Parallelogramme der Kräfte verhält, und durch das passende Zusammenwirken zweier geraden Augenmuskeln leicht zu vermitteln ist.

Da der in der Orbita befindliche Theil des Augapfels ziemlich genau kugelförmig ist, und da die angrenzenden Weichtheile dem Auge eine der Größe und Gestalt nach vollkommen passende Höhle darbieten, so können die Bewegungen desselben nur in Rotationen um sein Centrum bestehen. Versuche mit meinem Gesichtswinkelmesser belehrten mich, daß sich das Auge wirklich um einen unbeweglichen Punkt drehe und daß dieser Drehpunkt ungefähr  $5\frac{1}{6}$  hinter dem vordersten Punkte der Hornhaut liege. Beobachtungen von Burow und Valentin führten ziemlich genau zu demselben Resultate <sup>1)</sup>.

Indem die Unbeweglichkeit des Drehpunktes allgemeine Regel ist, so ist auch die Distanz beider Drehpunkte unter einander eine unveränderliche, obschon beim Fixiren sehr naher Gegenstände anscheinend die Augen sich näher rücken. Für mein Auge ergab sich eine Distanz der Drehpunkte von  $2\frac{1}{4}$ , mochte ich nun in die unendliche Ferne oder auf ein Object von  $4''$  Entfernung blicken.

Ich habe früher die Behauptung aufgestellt, daß der Drehpunkt des Auges und der Kreuzungspunkt der Richtungslinien zusammenfielen, dies muß ich zurücknehmen, indem beide Punkte ungefähr  $1\frac{1}{6}$  auseinander liegen. Die Beobachtung, welche mich zu jenem Irrthume verleitete, war folgende. Ich steckte auf einer horizontalen Tafel (Fig. 1) bei *a* und *b* zwei Stecknadeln auf

Fig. 1.



und versteckte dieselbe für das visirende Auge durch zwei vorgesteckte Nadeln *c* und *d*. Deckten sich nun die Nadeln *a* und *c* und wendete ich mein Auge seitlich nach dem zweiten Nadelpaare, so ging diese Deckung nicht verloren, während gleichzeitig die Nadeln *d* und *b* in Deckung befunden wurden. Da nun zwei Objecte nur dann sich decken, wenn sie in einer Richtungslinie liegen, und da alle Richtungslinien sich in Einem Punkte kreuzen (Sätze, die später ihre nähere Erörterung finden werden), so folgerte ich, müsse beim Visiren in verschiedenen Richtungen der Kreuzungspunkt der Richtungslinien immobil bleiben und sich als Drehpunkt des Auges verhalten.

Diese Folgerung würde unumstößlich sein, wenn unser Urtheil über Deckung von Objecten, welche zur Seite der Sehaxe liegen, ein hinreichend zuverlässiges wäre. Gegenwärtig, wo entschieden ist, daß der Drehpunkt und Kreuzungspunkt der Richtungslinien nicht coïncidiren, muß angenommen werden, daß Gegenstände, welche in der Visirlinie sich decken, bei seitlicher Wendung des Auges paralaktisch auseinander treten, selbst wenn die Empfindung dies nicht wahrnehmen sollte. Bei der geringen Distanz des Drehpunktes und

<sup>1)</sup> Ueber das Verfahren, den Punkt zu bestimmen, vergleiche man meine Beiträge S. 33, oder Valentin's Lehrbuch der Physiologie. II. S. 334.



Kreuzungspunktes kann der Effect der Paralaxe nie sehr bedeutend sein, er ist aber besonders gering, wenn der Winkel, unter welchem die beiden Visirlinien sich schneiden, ein kleiner ist. Gesezt, die Winkelbewegung des Auges wird größer, so wird zwar das paralaktische Auseinandertreten der Nadeln bedeutender werden müssen, aber das hiermit bedingte Doppelbild fällt nun in die Seitentheile des Sehfeldes, wo die Empfindung undeutlich wird. Nur bei beträchtlicher Seitenwendung des Auges wird die Paralaxe dem Sinne wahrnehmbar, wie ich schon in meinen Beiträgen bemerkt habe <sup>1)</sup>.

Wie sich überhaupt in den Bewegungen der willkürlichen Muskeln Associationen wahrnehmen lassen, welche durch gewisse organische Zwecke ein für alle Male gefordert sind, und durch den Einfluß des Willens nicht gestört werden können, so finden sich auch in den Bewegungen der Augenmuskeln gewisse zweckmäßige Combinationen, welche die Launen der Willkür beschränken und diejenigen Augenstellungen, mit welchen sie sich in Widerspruch befinden würden, ausschließen. Der Zweck, welcher die Augenbewegungen beherrscht, ist dieser, correspondirende Theile der Netzhäute dem Gesichtsobjecte gegenüber zu stellen, und nur, wenn das Object im Kreuzungspunkte der Seharen liegt, ist dieser Zweck erreichbar. Daher combiniren sich von den Muskeln der beiden Augen auch nur solche, welche eine Kreuzung der Seharen in einem Punkte zu Stande bringen. Eine combinirte Wirkung eines oberen und untern Augenmuskels ist nicht ausführbar, indem ein derartiges Muskelspiel mit der geforderten Kreuzung unvereinbar ist. Zulässig ist dagegen das Zusammenwirken von je zwei inneren, oberen und untern Augenmuskeln, desgleichen eines äußeren und eines inneren, je nachdem wir die Augen auf einen naheliegenden Gegenstand, auf ein Oberes, Unteres oder Seitliches richten wollen. Auch die beiden äußeren Augenmuskeln können sich zu einer gemeinsamen Thätigkeit verbinden, wenn es darauf ankommt, die Augen von einem nahen Punkte auf einen fernen zu richten. Eine derartige Combination war aber ohne einige Gefährdung des Zweckes der Augenbewegung nicht ausführbar. Beide äußere gerade Augenmuskeln brauchen nur ein wenig zu stark zu wirken, so werden die Augenaren divergiren, womit die Kreuzung unmöglich wird. Obgleich diese Bewegung für die meisten Menschen unausführbar ist, so ist sie doch nach organischen Gründen nicht unmöglich. Vidder besitzt die Fähigkeit, eine Divergenz der Augenaren willkürlich herbeizuführen.

Anlangend die schiefen Augenmuskeln, so rotirt bei stattfindendem Parallelismus der Augenaren und bei seitlicher Neigung des Hauptes das eine Auge nach außen, das andere nach innen, es combiniren sich also die ungleichnamigen Muskeln. Dagegen verbinden sich beim Sehen nach oben und innen, oder nach unten und innen, die gleichnamigen schiefen Augenmuskeln, im ersten Falle die beiden unteren, im zweiten die oberen <sup>2)</sup>.

Purkinje ist geneigt anzunehmen, daß das Auge, um sich in den seitlichen Theilen des Gesichtsfeldes zu orientiren, eine Menge kleiner aber äußerst rascher Bewegungen ausführe. Der Zusammenhang dieser Ansicht mit einem anderen ziemlich wichtigen Probleme, veranlaßte mich, über die Schnelligkeit der Augenbewegungen Experimente anzustellen. Die Versuche ergaben, daß

<sup>1)</sup> Mit dieser Angabe hatte ich die Nothwendigkeit einer gewissen Beschränkung meines Lehrsatzes von der Coincidenz der beiden fraglichen Punkte von vorn herein eingestanden.

<sup>2)</sup> Die Demonstration dieser Angaben würde zu weitläufig sein, doch ist sie mit Hilfe des Ophthalmotrops von Ruete leicht zu geben. Ueberhaupt ist dieses Instrument zum nähern Studium der Augenbewegungen ungemein förderlich.

die Schnelligkeit, in Vergleich zu dem, was andere Muskeln leisten, keine sehr beträchtliche ist. Nach Valentin kann ein geübter Klavierspieler den Zeigefinger beim Trillern in Zeit von  $\frac{1}{2}$  Minute 200mal beugen und strecken, was für eine einzelne Biegung oder Streckung  $4\frac{1}{2}$  Tertian ergeben würde. Die meisten Augenbewegungen sind auffallend viel langsamer. Ich experimentirte in der Weise, daß ich abwechselnd zwei Stecknadeln fixirte, welche in verschiedenen Richtungen und Entfernungen vom Auge aufgesteckt waren, und prüfte, wie oft ich in der Zeit von  $\frac{1}{2}$  Minute oder 1800 Tertian den Blick verändern konnte. Mittels Division der Zeit durch die Bewegung, erhielt ich die Dauer der Bewegung in Tertian, und in den nachstehenden Tabellen ist das Resultat der Versuche übersichtlich zusammengestellt:

Tabelle I.

Ueber die Schnelligkeit der Augenbewegungen, welche in einer horizontalen Ebene unter verschiedenen Winkeln ausgeführt werden. Die beiden Nadeln, welche abwechselnd fixirt werden, befinden sich in einer Entfernung von 10" vom Auge.

Größe der Winkelbewegung:		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	Angabe des Beobachters.
Dauer einer Bewegung nach Tertian.	Beobacht. mit einem Auge	25	26	25	27	26	27	26	Volkmann.
	Beobacht. mit beiden Aug.	19	19	21	21	19	21	20	Volkmann.
	Beobacht. mit einem Auge	24	29	28	29	28	28	28	Hüttenheim.
	Beobacht. mit beiden Aug.	22	28	26	28	29	29	29	Hüttenheim.

Tabelle II.

Wiederholung des vorigen Versuchs bei größeren Winkelbewegungen.

Größe der Winkelbewegung:		10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	Angabe des Beobachters.
Dauer einer Bewegung nach Tertian.	Beobacht. mit einem Auge	28	28	30	30	32	35	39	Volkmann.
	Beob. mit beiden Augen	30	32	38	41	51	56	69	Volkmann.
	Beob. mit einem Auge	18	18	19	19	20	21	21	Hüttenheim.
	Beob. mit beiden Augen	36	39	41	46	49	53	56	Hüttenheim.

Tabelle III.

Ueber die Schnelligkeit der Augenbewegungen, welche in einer lothrechten Ebene unter verschiedenen Winkeln ausgeführt werden. — Entfernung der Nadeln vom Auge 10".

Größe der Winkelbewegung:		10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	Angabe des Beobachters.
Dauer der Bewegung in Tertian.	Beob. mit einem Auge	27	27	28	29	28	29	31	Volkmann.
	Beob. mit beiden Augen	27	28	?	33	31	35	41	Volkmann.
	Beob. mit einem Auge	21	22	19	19	20	22	21	Hüttenheim.
	Beob. mit beiden Augen	27	28	?	31	34	36	39	Hüttenheim.



Tabelle IV.

Ueber die Schnelligkeit der Augenbewegungen, welche in einer Ebene von  $45^\circ$  Neigung ausgeführt werden. Distanz der fixirten Nadeln vom Auge =  $10''$ .

Größe der Winkelbewegung:		$10^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$	$40^\circ$	$50^\circ$	$60^\circ$	$70^\circ$	Beobachter.
Dauer der Bewegung in Zertien.	Beob. mit einem Auge	26	28	29	31	31	31	33	Volkmann.
	Beob. mit beiden Augen	31	34	36	36	41	43	47	Volkmann.
	Beob. mit einem Auge	19	20	21	22	22	23	25	Hüttenheim.
	Beob. mit beiden Augen	34	37	42	50	55	62	67	Hüttenheim.

Tabelle V.

Ueber die Schnelligkeit der Augenbewegungen in einer horizontalen Ebene, wenn sich Nadeln in verschiedenen Visirlinien befinden, die eine  $10''$  vom Auge, die zweite  $20$  Zoll <sup>1)</sup>.

Größe der Winkelbewegung:		$10^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$	$40^\circ$	$50^\circ$	$60^\circ$	Beobachter.
Dauer der Bewegung in Zertien.	Beobachtung mit einem Auge	25	25	26	28	31	36	Volkmann.
	Beobachtung mit beiden Augen	41	41	44	45	45	55	Volkmann.
	Beobachtung mit einem Auge	20	20	23	25	25	28	Hüttenheim.
	Beobachtung mit beiden Augen	49	55	56	58	60	62	Hüttenheim.

Tabelle VI.

Ueber die Schnelligkeit der Augenbewegungen bei Fixation von Objecten, welche sich in derselben Linie, aber in ungleichen Entfernungen vom Auge befinden.

Distanz: Winkelbewegung:		Angabe der Entfernung der Objecte und des Winkels, welchen jedes Auge bei der Fixationsbewegung beschreiben mußte.						Beobachter.
		5-10' $7^\circ$	5-20'' $10^\circ$	5-30'' $11^\circ$	5-40'' $11\frac{1}{2}^\circ$	10-20'' $3^\circ$	20-40'' $1\frac{1}{2}^\circ$	
Dauer der Bewegung in Zertien.	Beobacht. mit einem Auge . . .	43	47	49	50	39	38	Volkmann.
	Beobacht. mit beiden Augen . .	45	55	58	61	47	47	Volkmann.
	Beobacht. mit einem Auge . . .	31	33	34	34	31	30	Hüttenheim.
	Beobacht. mit beiden Augen . .	28	29	29	30	28	29	Hüttenheim.

<sup>1)</sup> Als fixirt erachteten wir die respect. Nadel erst dann, wenn sie sich im einfachen Bilde darstellte.

Aus diesen Beobachtungen scheint sich folgendes zu ergeben:

1) Die Augenbewegungen sind unter allen Umständen sehr viel langsamer als die Fingerbewegungen eines geübten Klavierspielers.

2) Bei gleicher Entfernung der Objecte und unveränderter Stellung der Ebene, in welcher sie liegen, wächst die Schnelligkeit der Augenbewegungen mit der Verkleinerung des zu beschreibenden Winkels, ausgenommen, wenn die Größe des letzteren unter  $70^\circ$  fällt, wo denn die Beschleunigung der Bewegung aufhört.

3) Die Lage der Ebene, in welcher die gleich weit entfernten Objecte liegen, hat Einfluß auf die Dauer der Bewegung, indem gleich große Bewegungen am schnellsten in einer lothrechten, langsamer in einer horizontalen oder schiefen Ebene ausgeführt werden.

4) Bewegungen, an welchen beide Augen Theil nehmen, verlangen beträchtlich mehr Zeit, als Bewegungen nur eines Auges (wahrscheinlich, weil die Kreuzung der Seharen nicht gleich zu finden ist).

5) Mit zunehmender Größe der Bewegung wächst die Dauer derselben in schnellerer Progression, wenn beide Augen beim Sehen theilhaftig sind, als wenn nur eines benutzt wird.

6) Ungleiche Entfernung der abwechselnd fixirten Objecte hat einen bedeutend retardirenden Einfluß auf die Augenbewegungen.

Als etwas Räthselhaftes ist noch zu bemerken, daß die 4 geraden Augenmuskeln der Willkür gehorchen, die beiden schiefen nicht. Mit Berücksichtigung der motorischen Nerven, welche hier in's Spiel treten, ist dies so auffallend, daß man versucht sein könnte, anzunehmen, der Einfluß des Willens sei doch da, und werde durch die Association der Bewegungen nur versteckt. Man könnte sagen, wir bewegten die schiefen Augenmuskeln zwar nie allein, ebenso wenig als gewisse Respirationmuskeln, die gleichwohl vom Willen abhängen, aber wir bewegten sie in Verbindung mit anderen und dann auch willkürlich. Diese Ausflucht scheint indeß nicht haltbar. Erzeugt man nämlich durch längeres Anschauen einer Lichtflamme ein Nachbild im Auge und neigt dann den Kopf nach einer Schulter, so verändert sich die senkrechte Stellung der Flamme in eine schiefe, was nicht der Fall sein könnte, wenn die Achsendrehung, welche der Neigung des Hauptes entgegenwirkt vom Willen ausginge. Die Prüfung analoger Fälle rechtfertigt diese Verneinung. Befindet sich z. B. ein Nachbild im Auge und man wendet den Kopf links, so wandert gleichzeitig auch die Erscheinung nach links, dreht man aber, während der Kopf sich links wendet, die Augen eben so viel nach rechts, so verändert die Erscheinung ihre Stellung nicht. Es besteht nämlich das Gesetz: keine Bewegung des Hauptes verändert die Stellung der Blendungsbilder, wenn ihr Effect durch eine entgegengesetzte willkürliche Bewegung der Augen annullirt wird.

#### D. Von der Iris.

Die Iris vertritt im Sehapparate zunächst die Stelle einer Blendung, indem durch die Kleinheit der Pupille die Dicke des einfallenden Lichtkegels beschränkt und der Nachtheil der sphärischen Aberration verhindert wird. Die Pupille ist einer activen Erweiterung und Verengerung fähig, wie der Umstand beweist, daß sie nach dem Tode eine Dimension hat, welche zwischen den extremen Größen, die während des Lebens vorkommen, in der Mitte steht. Die wesentlichsten Bedingungen, von welchen ihre Weite abhängt, sind Lichtreiz und Augenstellung.

Je lebhafter das Licht ist, welches in's Auge fällt, um so enger wird



die Pupille, und umgekehrt. Natürlich kommt hierbei sehr viel auf die Erregbarkeit des Auges an. Befindet sich die Netzhaut in einem Zustande gesteigerter Irritabilität, so kann ein Licht von mäßiger Stärke denselben Erfolg haben, als unter anderen Umständen ein sehr intensives, daher bei Augenentzündungen die Pupille nicht selten auf das Aeußerste verengt erscheint. Je näher uns ein Körper liegt, um so mehr werden Lichtstrahlen von demselben in's Auge bringen können, und umgekehrt; daher muß die Betrachtung entlegener Gegenstände eine geringere Verengung der Pupille, also relative Weite veranlassen, was durch die Erfahrung auch bestätigt wird.

Anlangend den Einfluß der Augenstellung auf die Pupillenweite, so verengert sich die Sehe in gleichem Maaße, als der Kreuzungspunkt der optischen Axen dem Auge genähert wird. Dies geschieht durch Contraction der inneren Augenmuskeln, ganz unabhängig vom Lichteinflusse. Fixirt man mit emporgerichtetem Haupte den blauen Himmel und führt dann eine Schielbewegung nach innen aus, so verengern sich die Pupillen, obgleich der Grad der Beleuchtung hier keine Veränderung erfährt. Die umgekehrte Erscheinung tritt ein, wenn durch Vermittelung der äußeren geraden Augenmuskeln, die anfangs convergirenden Augenaxen in eine parallele Stellung übergeführt werden. In diesem Falle erweitert sich die Pupille, aber allem Anscheine nach nicht activ, sondern nur durch Nachlaß der Thätigkeit, welche beim Schielen nach Innen Verengung zu Stande brachte. Es bleibt vorläufig unerklärbar, warum nur die Thätigkeit der inneren Augenmuskeln auf die Weite der Pupille von Einfluß ist.

Der Zweck der Pupillenbewegung ist im Wesentlichen der, die Menge des einfallenden Lichtes dem jedesmaligen Bedürfnisse des Auges anzupassen. Allerdings lassen die vom Lichte unabhängigen Bewegungen der Pupille, welche in Folge veränderter Augenstellung eintreten, noch andere Zwecke voraussetzen, doch ist die Physiologie gegenwärtig nicht im Stande, sie nachzuweisen. Mit Bezug auf die Erfahrung, daß Lichtstrahlen, welche durch das Centrum einer Linse treten, anders gebrochen werden, als Randstrahlen, haben Einige die Vermuthung geäußert, daß die Pupillenbewegung bestimmt sei, aus diesem Umstande Vortheile zu ziehen und zur Herstellung des Bildes bald mehr, bald weniger gebrochenes Licht in Anwendung zu bringen. Diese Ansicht ist jedenfalls irrig. Findet in unserm Auge eine sphärische Aberration Statt, wovon unten ausführlicher, so liegt nicht Bewegung, sondern constante Kleinheit der Pupille im Interesse des Sehorganes. Denn da die Strahlen, welche durch die Mitte der Linse treten, in allen Fällen und unvermeidlich zur Netzhaut bringen, so könnte es nur darauf ankommen, eben diese zur Herstellung des Bildes zu benutzen, alle übrigen dagegen als störend auszuschließen.

Der Wille hat auf die Bewegung der Iris nur indirect Einfluß, indem Contraction der inneren Augenmuskeln und Contraction der Iris sympathisch verbunden sind. Gewöhnlich erfolgt aber die Zusammenziehung ohne irgend einen Zusammenhang mit der Willensthätigkeit auf reflectorischem Wege. Das Licht dient als Reiz, der Sehnerv als centripetaler Leiter, das Gehirn als Centralorgan und das dritte Nervenpaar reflectirt motorisch auf die Iris. Schon Fontana zeigte, daß Licht, selbst durch eine Linse concentrirt, die Pupille nicht verengere, wenn es statt in's Innere des Auges, auf die Iris falle. Schneidet man den Sehnerven eines lebenden Thieres durch, so erweitert sich die Pupille, höchst wahrscheinlich, weil der Lichtreiz nun wegfällt, welcher bei unversehrtem Nerven das Sensorium afficirte und auf



reflectorischem Wege eine tonische Contraction der Iris veranlasste. Wird nach dieser Operation das centrale Ende des durchschnittenen Nerven mechanisch gereizt, so erfolgt wieder Verengerung der Pupille, während Reizung des peripherischen Endes ohne Erfolg bleibt. Tödtet man ein Thier durch Enthirnung, so verengert sich die Pupille weder wenn concentrirtes Licht ins Auge fällt, noch wenn man den Sehnerven mechanisch reizt, wohl aber contrahirt sie sich bei Reizung der Wurzeln des dritten Paares. Alle diese Umstände beweisen, daß die Reaction der Pupille auf Lichtreiz durch einen reflectorischen Proceß zu Stande kommt, bei welchem das Sensorium als Centralorgan dient.

Eine gewisse Schwierigkeit entsteht freilich dadurch, daß bisweilen auch bei Blinden der Einfluß des Lichtes Pupillenbewegung vermittelt, eine Erfahrung, welche angesehene Physiologen veranlasste, nicht das Gehirn, sondern das Ganglion ciliare als Centrum des Reflexes zu betrachten. Da indeß bei der großen Mehrzahl der Blinden die Pupille auf Lichtreiz nicht reagirt, so hat diese zweite Erklärungsweise schon in dieser Beziehung nichts Vorzügliches. Dagegen scheitert sie vollständig an der Sympathie der Pupillen unter einander. Blickt man in den hellen Himmel und verdeckt das eine Auge mit der Hand, so erweitert sich die Pupille auch des offenen Auges, und läßt man concentrirtes Licht nur in ein Auge fallen, so contrahirt sich die Sehe auch im andern. Die Sympathie beider Augen ist ohne die Vermittelung des Gehirnes nicht begreiflich, indem die Nerven derselben nur durch dieses in Verbindung stehen. Es kehrt nun allerdings die Frage wieder, warum bei einigen Blinden die Pupille gegen Lichtreiz empfindlich bleibe. Berücksichtigen wir, daß selbst bei frisch getödteten Thieren durch Kneipen des Sehnerven Pupillenbewegungen veranlaßt werden können, so scheint die Annahme erlaubt, daß Erregung des Sehnerven auch ohne das Mittelglied von Gesichtsempfindungen die Thätigkeit der Iris zu wecken vermöge.

An das Vorbergehende schließt sich die schwierige Frage, welche Bestimmung der Ciliarnoten habe. Die meisten Ciliarnerven, welche zur Iris gehen, sind Aeste dieses Ganglions, und die von Bidder und mir angestellten mikroskopischen Beobachtungen über diese Nerven lehren, daß ein großer Theil ihrer Fasern vom Ganglion ihren Ursprung nimmt. Alle diese Fasern gehören zur Classe derer, welche wir sympathische nennen und dienen also höchst wahrscheinlicher Weise weder der Empfindung, noch der willkürlichen Bewegung <sup>1)</sup>. Dienen sie nun vielleicht der unwillkürlichen Bewegung? Mit dieser Hypothese in Uebereinstimmung ist es, daß die Bewegungen der Iris wirklich unwillkürlich sind; denn die Association derselben mit gewissen spontanen Bewegungen ist eben nur Association, sie beschränkt sich auf wenige Fälle und ist selbst in diesen noch von dem zufälligen Einflusse des Lichtes abhängig; lauter Umstände, welche beweisen, daß die Willenskraft einen unmittelbaren Einfluß auf die Iris nicht ausübt. Mit Bezug hierauf könnten die Pupillenbewegungen unter der Herrschaft des Ganglion stehen, wenn nicht nach den im Vorbergehenden mitgetheilten Erfahrungen das Gehirn als deren Centrum erschiene. Einen schwachen Lichtstrahl in dieses Dunkel werfen die Erfahrungen, die ich in meinem Beitrag zur näheren Kenntniß der motorischen Nervenwirkungen kürzlich bekannt gemacht habe <sup>2)</sup>. Die Pupillenbewegungen, welche entstehen, wenn man die Wurzeln des 3ten

<sup>1)</sup> S. dieses Wörterbuches Band II., Seite 600.

<sup>2)</sup> Müller's Archiv. 1845. S. 406.



Nervenpaares in die Kette des magneto-elektrischen Rotationsapparates bringt, haben nicht den Charakter directer Reizbewegungen, sondern vielmehr solcher, welche auf Uebertragung des motorischen Reizes von einem Fasersysteme auf ein anderes, im Innern eines Centralorganes, basirt sind. Es hat vorläufig den Anschein, als ob die Pupillenbewegung durch Lichtreiz auf einem doppelten Reflex beruhe. Die centripetalen Fasern des Sehnerven erregen durch das Mittelglied des Gehirnes die centrifugalen Fasern des 3ten Nervenpaares, und weiter erregen diese durch das Mittelglied des Ciliarknotens die motorischen Nerven der Iris. Derartige complicirte Vorgänge sind nicht ohne Analogie. Auch wenn ein Schrecken erregender Anblick Herzklopfen erzeugt, scheint ein doppelter Reflex zunächst im Gehirne und dann in den Ganglien des Herzens stattzufinden.

Mit der Annahme, daß die Bewegungen der Iris zunächst von sympathischen Fasern ausgehen, stimmen auch anderweitige Erfahrungen so ziemlich zusammen. Reizung des 3ten Nervenpaares erzeugt stets Contraction, nie Expansion der Pupille, und da kein anderer Hirnnerv einen Einfluß auf die Iris ausübt, so liegt es nah, auch hier an die Vermittelung des Sympathicus zu denken. In der That bemerkten verschiedene Beobachter, daß nach Durchschneidung des Sympathicus am Halse Verengerung der Pupille eintrat, was anzudeuten scheint, daß von ihm eine expandirende Kraft ausgehe, welche der Tendenz zur Contraction die Wage hält. In diesem Falle müßte Reizung des Sympathicus Erweiterung der Pupille zur Folge haben, was ich freilich im Experimente nicht finden konnte. Für den Einfluß des Sympathicus auf die Iris sprechen einigermaßen auch die Undulationen der Pupille, welche bemerkt werden, wenn man einen hellen Lichtstrahl plötzlich und vorübergehend in's Auge fallen läßt. Solche rhythmische Reactionen auf nur einen Reiz liegen mehr im Charakter der vegetativen als animalen Nerven. Endlich verdient selbst die Langsamkeit der Irisbewegungen einige Rücksicht. Obschon sich die Bewegungen der Pupille mit denen der Augenmuskeln associiren, so beschränkt sich doch diese Association auf die Fixationsbewegungen, welche, wie oben gezeigt wurde, die langsamsten Bewegungen der Augenmuskeln sind, welche vorkommen. Führt man die Fixationsbewegungen abwechselnd auf ein nahes und fernes Object so rasch aus als möglich, so sind die Pupillenbewegungen geringer, als wenn man sie langsam ausführt. Bringt man in gleicher Entfernung vom Auge ein brennendes Licht und eine Stecknadel an und experimentirt in der Weise, daß man unter einem Visirwinkel von  $10^{\circ}$  möglichst schnell auf das eine und das andere Object blickt, so gerathen die Pupillenbewegungen in Unordnung, sie erfolgen langsamer als die Augenbewegungen, und es biegt sich, daß die Pupille gerade bei Fixation der Lichtflamme am meisten contrahirt ist.

#### IV. Physiologische Optik.

##### A. Gang der Lichtstrahlen.

Das gegenständliche Sehen ist dadurch bedingt, daß ein Bild des Objectes auf der Netzhaut entsteht, welches dem Objecte conform ist. Im Auge des Menschen, wie überhaupt in jedem einfachen Auge, geschieht dies durch einen optischen Apparat, welcher mit der Camera obscura vergleichbar ist. Das Licht wird in den durchsichtigen Medien des Auges gebrochen und



in Folge der kugelförmigen Gestalt dieser Medien gesammelt. Das Licht, welches von einem leuchtenden Punkte kegelförmig divergirend in's Auge fällt, wird als kegelförmig convergirendes wieder in einem Punkte der Netzhaut zusammengeführt. Natürlich bildet jeder leuchtende Punkt eines Objectes einen solchen Doppelkegel und folglich auch einen besonderen Lichtpunkt im Auge. Die relative Lage der Lichtpunkte auf der Netzhaut ist dieselbe, wie die der leuchtenden Punkte im Objecte, nur umgekehrt, d. h. ein Dreieck mit nach oben gekehrter Spitze, bildet im Auge ein Dreieck, dessen Spitze nach unten liegt. Nur ein Lichtstrahl, welcher mit der Sehaxe und folglich mit dem Einfallslothe auf die brechenden Medien zusammenfällt, geht ungebrochen durch's Auge, während alle seitlich einfallenden Strahlen eben so oft eine Brechung erfahren, als sich das Brechungsvermögen der Medien ändert, durch welche sie hindurchtreten.

Nach den Untersuchungen von Brewster, Young und Chossat verhält sich das Brechungsvermögen verschiedener Theile des menschlichen Auges, wie folgt:

	Young.	Brewster.	Chossat.	Im Mittel.
Hornhaut . . . . .	—	—	1,33	1,33
Wässerige Feuchtigkeit . . . . .	—	1,3366	1,338	1,337
Äußere Schicht der Linse . . . . .	—	1,3767	1,358	1,357
Mittlere Schicht derselben . . . . .	—	1,3786	1,395	1,387
Kern derselben . . . . .	1,485	1,3999	1,420	1,407
Glaskörper . . . . .	—	1,3394	1,339	1,339

Schon aus dieser Tabelle ergibt sich, daß das seitlich einfallende Licht vielmals gebrochen werde, in der Wirklichkeit erfährt es noch viel häufigere Brechungen; denn die Linse besteht nicht bloß aus drei Schichten, welche im Vorhergehenden willkürlich unterschieden wurden, sondern aus sehr vielen, deren Brechungsvermögen, je weiter nach innen, stetig zunimmt. Die Theorie ist nicht im Stande, den Lichtstrahl in allen seinen Abweichungen zu verfolgen, auch handelt es sich in der Physiologie hauptsächlich nur um den definitiven Gang des Lichtes im Glaskörper, indem hiervon die Beantwortung zweier Hauptfragen abhängt, nämlich erstens: auf welche Punkte der Netzhaut das Bildchen falle, und zweitens in wiefern der Focus den Ansprüchen des deutlichen Sehens entspreche.

Listig hat sich um die Physiologie des Auges das große Verdienst erworben, in einer allgemein verständlichen Weise zu zeigen, wie sich die dioptrischen Vorgänge gestalten, wenn man die Betrachtung derselben in etwas vereinfacht <sup>1)</sup>. Man kann für die gegenwärtigen Bedürfnisse der Physiologie sich die Annahme gestatten, daß der Sehapparat aus drei brechenden Mitteln bestehe, welche durch sphärische Flächen getrennt sind, deren Krümmungscentra in der Sehaxe liegen. Das erste Medium würde dann die Hornhaut mit dem Humor aqueus sein, das zweite die Linse, das dritte der Glaskörper. Im ersten Medium wird nach bekannten optischen Gesetzen das Licht gegen das Einfallslot zu gebrochen. Dies ist die stärkste Brechung, welche das Licht erfährt, weil die Differenz zwischen der Dichtigkeit der Luft und der Hornhaut größer ist, als die Differenz zwischen der letzteren und den folgenden Medien, sowie auch dieser unter sich. In der Linse wird wegen des größeren Brechungsvermögens derselben, im Vergleiche zur Hornhaut und zum Augenwasser, der Lichtstrahl nochmals dem Einfallslothe

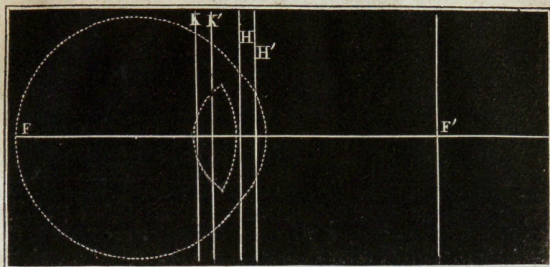
<sup>1)</sup> Beitrag zur physiologischen Optik, in den Göttinger Studien. 1845.



zu gebrochen, dagegen erfährt derselbe in dem minder dichten Glaskörper eine geringe Beugung abwärts vom Lothe.

Zur nähern Bestimmung des Lichtganges dienen 6 in der Augenaxe gelegene Punkte, welche in Figur 2 unter  $F'$ ,  $H'$ ,  $H$ ,  $K'$ ,  $K$ ,  $F$ , angegeben sind.

Fig. 2.



Gesetzt, das Auge sei für die unendliche Ferne eingerichtet, so vereinigen sich parallel einfallende Lichtstrahlen auf der Netzhaut in dem Focus  $F$ . Diesem inneren Brennpunkte entspricht ein äußerer, etwa um den halben Durchmesser des Auges vor der Hornhaut liegender Focus  $F'$ . In dem letzteren würde sich Licht vereinigen, welches parallel durch den Glaskörper nach außen ginge. Legt man durch die beiden Brennpunkte Ebenen (Focalebene), so werden, abstrahirt von der sphärischen Aberration, alle parallel in's Auge fallenden Strahlen nach dreimaliger Brechung in irgend einem Punkte der hinteren Focalebene vereinigt, und alle von irgend einem Punkte der vorderen Focalebene in's Auge tretenden Strahlen treten ebenfalls nach erlittener Brechung in paralleler Richtung durch den Glaskörper.

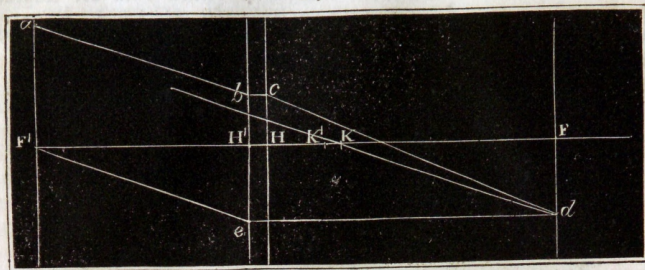
Die übrigen wichtigen Punkte sind erstens die von Gauss entdeckten beiden Hauptpunkte  $H'$   $H$ , welche in der vorderen Augenkammer liegen und dann die von Listing sogenannten Knotenpunkte der Richtungslinien  $K'$   $K$ , welche nahe an der Hinterfläche der Linse gelegen sind. Die Distanz der Hauptpunkte unter einander beträgt nur wenige Zehnthelle eines Millimeters und ist gleich der Entfernung der Knotenpunkte unter sich. Ebenso ist die Entfernung des vorderen Hauptpunktes vom vorderen Focus gleich der Distanz des hinteren Knotenpunktes vom hinteren Focus. Die angeführten Punkte und Ebenen, zu welchen noch zwei durch  $H'$   $H$  gelegte Hauptebenen zu rechnen sind, kommen nun nach Listing in folgender Weise zur Anwendung <sup>1)</sup>: (Siehe Figur 3 auf der nächsten Seite.)

1) Ein in's Auge fallender Strahl, von beliebiger Lage, treffe die vordere Focalebene im Punkte  $a$ , die vordere Hauptebene im Punkte  $b$ , eine Parallele mit der Sehaxe durch  $b$  treffe die hintere Hauptebene in  $c$ , und eine Parallele mit  $a$   $b$  durch den hinteren Knotenpunkte schneide die hintere Focalebene bei  $d$ , so giebt  $c$   $d$  die Lage des Strahles im Glaskörper. — Ohne Zuziehung des Knotenpunktes würde man  $d$  auch durch die Linien  $F'e$

<sup>1)</sup> Listing a. a. O. S. 11. Ich erlaube mir im Folgenden die Darstellung des Herrn Verfassers fast wörtlich wieder zu geben, da die außerordentliche Präcision derselben eine weitere Zusammen drängung des Gegenstandes nicht zuläßt.

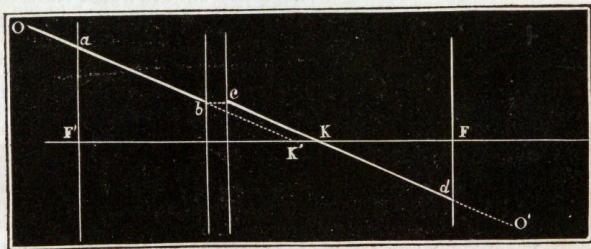
und  $e d$  finden, die erste parallel zum einfallenden Strahle die zweite parallel zur Axe ziehend.

Fig. 3.



Wäre also ein Strahl gegeben, welcher über  $b$  hinaus verlängert nach  $K'$  ginge, so würde er nach erlittener Brechung mit der Linie  $K' d$  zusammenfallen, d. h. ein nach dem vorderen Knotenpunkte zielender Lichtstrahl bewegt sich im Glaskörper in derselben Richtung und erscheint bloß um die Distanz der Knotenpunkte längs der Axe verschoben. Nennt man nun mit Listing eine gerade Linie, welche vom leuchtenden Objecte bis zum vorderen Knotenpunkte gezogen wird, erste Richtungslinie, und eine, durch den hinteren Knotenpunkt gehende, mit der vorigen parallele, zweite Richtungslinie, so geht ein längs der ersten Richtungslinie einfallender Strahl nach der Brechung längs der zweiten Richtungslinie. Dieses Verhältniß erläutert Figur 4, in welcher  $O$  das Object, also  $O K'$  die erste Richtungslinie und  $K O'$  die zweite darstellt.

Fig. 4.



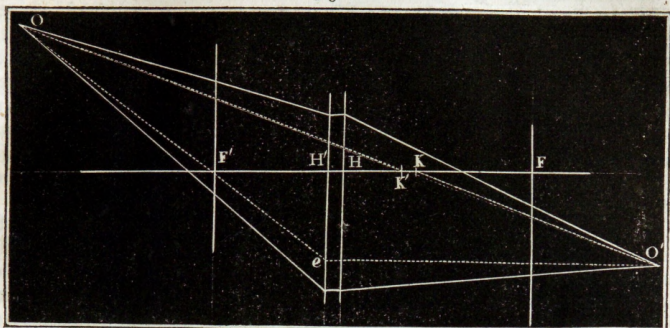
2) Weiß man aus dem Vorhergehenden den Weg jedes einzelnen Lichtstrahles, so weiß man auch, in welchem Punkte ein zusammen gehöriges System von Strahlen vereinigt wird, d. h. man kennt dann auch den Ort des Bildes, in wiefern dasselbe entweder auf die Netzhaut fällt, wo es deutlich erscheint, oder vor oder hinter dieselbe, wo die Deutlichkeit mangelt. Es genüge beispielsweise einige Fälle in Betracht zu ziehen.

Gesetzt, das Auge wäre für paralleles Licht adaptirt, so würden die Strahlen eines Fixsternes auf der Netzhaut vereinigt werden, und das deutliche Bild müßte in dem Punkte derselben liegen, welcher von der hinteren Richtungslinie geschnitten würde. Liegt dagegen, bei derselben Einrichtung des Auges, der leuchtende Punkt in endlicher Ferne, vor der vorderen Focalebene,



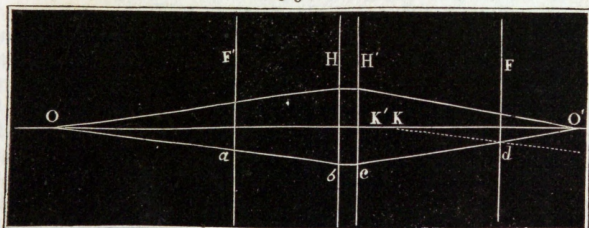
so convergiren die Lichtstrahlen im Auge gegen einen jenseits der hinteren Focalebene gelegenen Punkt der zweiten Richtungslinie, den man findet, wenn man die oben an Figur 3 erörterte Construction auf einen mit der ersten Richtungslinie  $OK'$  nicht parallel einfallenden Strahl anwendet.

Fig. 5.



Liegt das Object  $O$  außer der Augenaxe, so verbinde man  $O$  mit  $F'$  durch eine gerade Linie, verlängere sie bis zur vorderen Hauptebene, bis  $e$ , und ziehe von hier parallel zur Axe eine gerade Linie, so ist der Durchschnittspunkt  $O'$  dieser letzteren mit der zweiten Richtungslinie  $K'O'$  das reelle Bild von  $O$ . — Liegt aber der strahlende Punkt in der Augenaxe (Fig. 6), so ziehe man einen zur Axe geneigten Strahl  $Ob$ , bestimme nach der bei Fig. 3 gegebenen Vorschrift den ausgehenden Strahl  $c d$ , so wird der Durchschnittspunkt  $O'$  desselben mit der Axe (mit welcher nun beide Richtungslinien zusammenfallen) das gesuchte Bild sein <sup>1)</sup>.

Fig. 6.



Aus dem Gesagten ergibt sich von selbst, daß die Focalfunkte keine festen sind, sondern ihrer Lage nach von der Entfernung der Objecte oder dem Accommodationszustande des Auges abhängen. Eben so müssen sich mit letzteren die Haupt- und Knotenpunkte verschieben, obschon in geringerem Maße. Ferner enthält die gegebene Darstellung den theoretischen Beweis, daß der Arenstrahl des Lichtkegels, welcher den Mittelpunkt der Pupille, oder wie Andere wollen, den Mittelpunkt der Linse schneidet, keineswegs der Richtungstrahl ist, welcher dem gesammelten Lichte seine Stelle auf der

<sup>1)</sup> Die bei Fig. 3 gegebene Vorschrift war nämlich die: parallel mit dem einfallenden Strahle (hier  $a b$ ) ziehe man die zweite Richtungslinie ( $K d$ ), und wo die zweite Richtungslinie die hintere Focalebene schneidet (bei  $d$ ), da muß auch der durch den Glaskörper gehende Strahl (hier  $c d$ ) sie schneiden.

Netzhaut anweist, ein Irrthum, welchen ich auf experimentellem Wege schon in meinen Beiträgen zur Physiologie des Gesichtssinnes (Seite 24) widerlegt hatte.

Im Vorhergehendem ist die Bedeutung der 6 optischen Punkte und der 4 durch dieselben gelegten Ebenen erörtert worden, die Anwendung der aufgestellten Regeln beim Gebrauche hängt nun von einer möglichst exacten Bestimmung der Lage dieser Punkte ab. Moser hat unter dem Namen Hauptpunkte die von Listing sogenannten Knotenpunkte untersucht und giebt an, daß der vorderste 3,193, der hinterste 3,276 hinter dem vordersten Punkte der Hornhaut liege <sup>1)</sup>. — Listing hat sich über die Lage der verschiedenen Punkte nicht mit Bestimmtheit ausgedrückt; wenn er indeß angiebt, daß die Knotenpunkte noch an der Hinterfläche der Linse liegen müßten, so würden sie, den mittleren Dimensionen des Auges zufolge, nahebei 4''' hinter den vordersten Punkt der Hornhaut zu stehen kommen.

Ohne von den im Obigen entwickelten optischen Theorien etwas zu ahnen, habe ich in meinen Untersuchungen über den Kreuzungspunkt der Richtungslinien ein empirisches Material geliefert, welches bei der Bestimmung der Hauptpunkte in Frage kommt. Ich nannte Richtungslinien solche gerade Linien, welche den leuchtenden Punkt mit seinem Netzhautbilde verbinden, und kam durch Beobachtungen und Experimente zu dem Schlusse, daß bei gleichbleibendem Accommodationszustande des Auges sich sämtliche Richtungslinien in einem Punkte des Auges kreuzen. Diese Angabe ist mit den neuen mathematischen Entdeckungen einigermaßen vereinbar; denn es ist klar, was auch von Listing ausdrücklich bemerkt wird, daß mein Kreuzungspunkt der Richtungslinie nichts anderes ist, als eine Zusammenschmelzung der etwa 0,08''' distanten Knotenpunkte in einen <sup>2)</sup>. — Während also in dieser Beziehung meine früheren experimentellen Untersuchungen mit den Resultaten der mathematischen Forschung so ziemlich zusammenstimmen, findet sich eine bemerkliche Differenz in Bezug auf den Ort des Kreuzungspunktes, welchen ich fast in die Mitte des Auges glaubte legen zu müssen.

Hierin irrte ich, indem ich einerseits auf Beobachtungen am Kaninchen, bei welchem sich wirklich die Richtungslinien ganz nah am Mittelpunkte des Auges kreuzen, ein zu großes Gewicht legte, andererseits den mit meinem Gesichtswinkelmesser gefundenen Punkt im menschlichen Auge für den Kreuzungspunkt der Richtungslinien nahm, während er nur der Drehpunkt der Bewegung ist. Ich habe daher schon vor vier Jahren eine neue Reihe von Beobachtungen angestellt, welche zu beweisen scheinen, daß jener Kreuzungspunkt beträchtlich weiter nach vorn liegt, als ich früher behauptete, obgleich nicht ganz so weit, als Mile, Knochenhauer und Andere annehmen, welche Sömmerrings nicht ganz richtige Angaben über den Radius der Hornhautkrümmung zum Ausgangspunkte ihrer Betrachtungen machten.

Nicht bloß bei weißen Kaninchen, sondern auch beim Menschen kann man das Netzhautbilden einer Lichtflamme durch die Sclerotica hindurch sehen, ja man kann dies sogar an lebenden Personen, was von vornherein

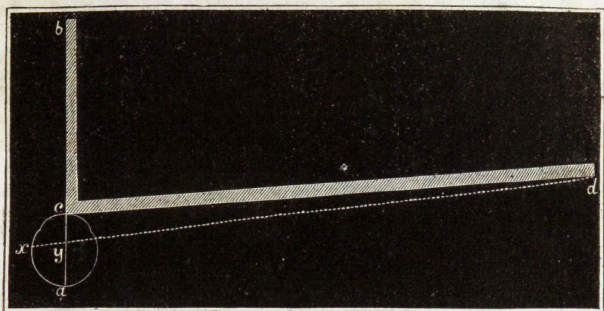
<sup>1)</sup> Repertorium der Physik von Dove. Bd. V. S. 364.

<sup>2)</sup> Wer sich an den Gebrauch der von mir benutzten Richtungslinien gewöhnt hat, kann denselben bei Behandlung der meisten Fragen ohne allen Nachtheil beibehalten. Denn obgleich, streng genommen, zwei Richtungslinien existiren, welche parallel neben einander verlaufen, so fallen dieselben doch bei der geringen Distanz der Knotenpunkte, namentlich wenn die Objecte nicht zu weit seitlich von der Sehaxe liegen, so gut wie zusammen.



sehr paradox scheint. Am geeignetsten zu diesen Beobachtungen sind Personen mit großen etwas vorspringenden Augen, blonde Leute, deren weiße Augenhaut durch einen bläulichen Schimmer ihre größere Durchsichtigkeit verräth. Wenn man einen Menschen von dieser Constitution das Auge möglichst stark nach außen wenden läßt, und dann wiederum nach außen, unter einem Winkel von  $80 - 85^\circ$  eine helle Lichtflamme anbringt, so kann man das Netzhautbildchen in der Gegend des inneren Augenwinkels durch die Sclerotica hindurchschimmern sehen. Bei einem jungen Mädchen sah ich dieses Bild so deutlich, daß ich die Umkehrung der Flamme wahrnehmen konnte. Ich habe dieses interessante Verhältniß benutzt, um über die Lage der Richtungslinien im Menschen directe Versuche anzustellen.

Fig. 7.



Ich nahm ein Winkelmaß  $bcd$ , dessen sehr lange Arme sich unter einem Winkel von  $82^\circ$  vereinigten, legte es auf einen Tisch, so daß der Winkel  $c$  über den Rand desselben frei vorsprang und richtete bei  $b$  eine Stecknadel, bei  $d$  aber eine brennende Kerze auf <sup>1)</sup>. Dann näherte die zum Experimente erwählte Person das stark nach außen gewendete Auge dem Apparate in der Weise, daß der vorderste Punkt der Hornhaut über dem Punkte  $c$  des Winkelmaßes schwebte, und daß die Linie  $cb$  eine Fortsetzung der Augenaxe  $ac$  bildete. War nun das Flammenbildchen im inneren Augenwinkel deutlich, so maß ich die Entfernung desselben vom Rande der Iris mit dem Zirkel, nachdem vorläufig die Breite der Iris durch Zirkelmessung bereits bestimmt worden war. Nennen wir die erste Entfernung  $A$ , die Breite der Iris  $B$ , so betrug die Entfernung des Flammenbildchens vom vordersten Punkte der Hornhaut  $A + \frac{1}{2} B$ .

Es kam nun darauf an, zu bestimmen, an welchem Punkte eine gerade Linie, welche von der Lichtflamme bei  $d$  zu dem Flammenbildchen bei  $x$  gezogen würde, die Augenaxe kreuzte. Dieser Punkt ( $y$ ) wäre dann der Kreuzungspunkt der Richtungslinien. Das einzige Mittel, diesen Punkt zu finden, war, die Figur des Auges und Winkelmaßes unter Beibehaltung der gefundenen Größenverhältnisse auf Papier zu tragen und die Richtungslinie in die Figur hinein zu zeichnen. Zur Aufzeichnung des Auges wurden die oben mitgetheilten Angaben von Krause über die Formen und mittleren

<sup>1)</sup> Mein verehrter College Marchand verschaffte mir Gelegenheit, statt der Kerze eine weißglühende Platinkugel anzuwenden, wo sich das Netzhautbildchen viel deutlicher darstellte.

Dimensionen des menschlichen Sehorganes benutzt. — Um den Leser nicht im Unklaren zu lassen, wie weit die Zuverlässigkeit solcher Messungen gehen, theile ich die Ergebnisse derselben im Einzelnen mit.

Erste Beobachtungsreihe, an einem Mädchen von neun Jahren; sehr klein für ihr Alter, Augen groß, Durchmesser der Iris  $5,^{\prime\prime}52$ ; das Licht steht  $82^{\circ}$  nach außen in einer Entfernung von 37 Zoll; das Netzhautbild überaus deutlich.

- a. Entfernung des Bildes von der Iris =  $4,^{\prime\prime}32$ .
- b.     "     "     "     "     "     " =  $5, 40$ .
- c.     "     "     "     "     "     " =  $4, 80$ .
- d.     "     "     "     "     "     " =  $4, 56$ .

Im Mittel von 4 Beobachtungen =  $4,^{\prime\prime}77$ .

Entfernung des Kreuzungspunktes der Richtungslinien vom vordersten Punkte der Hornhaut =  $4,^{\prime\prime}08$ .

Zweite Beobachtungsreihe, an meinem Auge angestellt; Durchmesser der Iris  $5,^{\prime\prime}28$ ; Aufstellung der Kerze wie vorher; Netzhautbild undeutlich; die Messungen vom Herrn Professor Senff ausgeführt.

- a. Entfernung des Netzhautbildes von der Iris =  $5,^{\prime\prime}04$ .
- b.     "     "     "     "     "     " =  $5, 40$ .
- c.     "     "     "     "     "     " =  $5, 28$ .

Im Mittel von 3 Beobachtungen =  $5,^{\prime\prime}24$ .

Entfernung des Kreuzungspunktes vom vordersten Punkte der Hornhaut =  $4,^{\prime\prime}44$ .

Dritte Beobachtungsreihe, am Auge des Herrn Professors Bidder; Durchmesser der Iris =  $4,^{\prime\prime}80$ ; Aufstellung des Apparates wie vorher; Netzhautbild undeutlich; die eine Messung von Senff, die andere von mir ausgeführt.

- a. Entfernung des Bildchens von der Iris =  $4,^{\prime\prime}80$ .
- b.     "     "     "     "     "     " =  $4, 68$ .

Im Mittel von 2 Beobachtungen =  $4,^{\prime\prime}74$ .

Entfernung des Kreuzungspunktes vom vordersten Punkte der Hornhaut =  $3,^{\prime\prime}46$ .

Vierte Beobachtungsreihe, an Herrn Stud. Lanz; Auge sehr groß; Durchmesser der Iris  $5,^{\prime\prime}64$ ; Apparat wie vorher; Netzhautbild sehr deutlich.

- a. Entfernung des Bildchens von der Iris =  $4,^{\prime\prime}80$ .
- b.     "     "     "     "     "     " =  $4, 56$ .
- c.     "     "     "     "     "     " =  $4, 20$ .

Im Mittel von 3 Beobachtungen =  $4,^{\prime\prime}52$ .

Entfernung des Kreuzungspunktes vom Centrum der Hornhaut  $3,^{\prime\prime}72$ .

Fünfte Beobachtungsreihe, an Herrn Professor Marchand; Durchmesser der Iris  $5,^{\prime\prime}75$ ; Winkel, unter welchem die Lichtstrahlen in's Auge fielen  $83^{\circ}$ ; Entfernung der weißglühenden Platinfugel vom Auge  $15,^{\prime\prime}$ ; Lichtbild sehr deutlich.

- a. Entfernung des Bildchens von der Iris =  $4,^{\prime\prime}07$ .
- b.     "     "     "     "     "     " =  $4, 34$ .
- c.     "     "     "     "     "     " =  $4, 25$ .

Im Mittel von 3 Beobachtungen =  $4,^{\prime\prime}22$ .

Entfernung des Kreuzungspunktes vom Centrum der Hornhautkrümmung =  $3,^{\prime\prime}36$ .



Ziehen wir aus allen vorliegenden Beobachtungen die Mittelzahlen, so läge der Kreuzungspunkt der Richtungslinien:

- a. Hinter dem vordersten Punkte der Hornhaut  $3,^{'''97}$ .
- b. Vor dem hintersten Punkte der Linse . .  $0,^{'''43}$ .
- c. Vor dem Axenpunkte der Netzhaut . . .  $6,^{'''23}$ .

Diese Werthe liegen denen von Moser und Listing gefundenen bereits sehr nah, und die noch stattfindende Differenz wird nicht allein meinen Beobachtungen zur Last fallen. Auch die Rechnungen der Physiker beruhen auf Erfahrungen, welche manchem Zweifel Raum geben, nämlich auf den bis dahin ziemlich mangelhaften Bestimmungen der Form und des Brechungsindex der durchsichtigen Medien.

Während meine früheren Angaben über die Lage des Kreuzungspunktes einer Berichtigung bedurften, bleibt Alles in Gültigkeit, was ich über die Deckung der Gesichtsobjecte bemerkt habe. Gegenstände decken sich, wenn sie in gleichen Richtungslinien liegen. Dieser Lehrsatz ist von Knochenhauer unnöthiger Weise angegriffen worden <sup>1)</sup>. Um ausführlichere Entgegnungen zu vermeiden, welche hier unangebracht sein würden, beschränke ich mich auf die Bemerkung, daß Knochenhauer ganz richtig den Gang des Lichtes angiebt, aber unberücksichtigt läßt, daß wenn von zwei Objecten, die sich decken, das eine unvermeidlich im Zerstreuungskreise erscheint, von etwas anderem als von Coincidenz der Mittelpunkte des deutlichen und undeutlichen Bildes gar nicht die Rede sein könne. Nur wenn Gegenstände in gleichen Richtungslinien liegen, kommt es zu dieser Coincidenz.

## B. Von dem Brennpunkte.

Die Optik verlangt, daß das Licht, welches von jedem leuchtenden Punkte in einem divergirenden Kegelein's Auge fällt, auf der Netzhaut wieder gesammelt werde. Benutzt man aber die bisher bekannt gemachten Beobachtungen über die Form und die brechende Kraft der einzelnen Theile unseres Sehapparates, so ergiebt die Rechnung, daß der Focus nicht auf die Netzhaut, sondern 1 bis  $1\frac{1}{2}$  Linien hinter sie falle. Valentin hat zu zeigen gesucht, daß dieses Ergebniß der Rechnung auf physikalischen Mißverständnissen beruhe; indeß ist leicht zu sehen, daß das Mißverständniß nur auf seiner Seite sei, und daß die günstigeren Zahlenwerthe, die er findet, nicht bloß auf fehlerhaften Voraussetzungen, sondern auch auf falscher Rechnung beruhen.

Mein gelehrter Freund Senff in Dorpat hat diesen Gegenstand schon vor mehreren Jahren erledigt, aber leider seine werthvollen Untersuchungen noch immer nicht bekannt gemacht. Was ich vorläufig über dieselben mittheilen kann, ist Folgendes.

Der Grund, warum die bisherigen Rechnungen über die Vereinigung des Lichtes auf der Netzhaut mit den Messungen nicht übereinstimmen, liegt in der Unbekanntschaft der Optiker mit dem Umstande, daß der geschichtete Bau der Linse ihre brechende Kraft bedeutend erhöht. Senff hat auf experimentellem und theoretischem Wege entschieden, daß die Kraft der geschichteten Linse bei weitem größer ist, als wenn sie durch und durch aus einem so stark brechenden Stoffe gebildet wäre, als ihr dichter Kern ist, während man ihr in den bisherigen Rechnungen immer eine mittlere Brechkraft,

<sup>1)</sup> Poggendorf's Annalen. 1839. Bb. XXXXVI. S. 248.



zwischen der ihrer äußeren Schicht und ihres Kernes beilegte <sup>1)</sup>. Bei einer Drenlinse wurde der Brechungscoefficient 1,539 befunden, während der Brechungscoefficient der äußeren Schicht nur 1,374 und der des Kernes 1,453 war. An demselben Auge waren alle Dimensionen, Abstände und Krümmungshalbmesser, sowie die Brechungscoefficienten der durchsichtigen Medien genau bestimmt worden, und als nun mit Zugrundlegung jener brechenden Kraft der Linse (1,539) die Berechnung des Ganges der Lichtstrahlen ausgeführt wurde, so wich der Vereinigungspunkt derselben nur um 0,1''' von der Netzhaut ab, eine Größe, welche unter den Beobachtungsfehlern liegt. — Senff ist im Stande, diese außerordentliche Sammellkraft der Linse auch theoretisch zu erklären. Er entwickelte eine Formel, welche er auf 6, in Bezug auf ihr Brechungsvermögen untersuchte, Schichten der Linse anwendete, und die Rechnung ergab eine Kraft von 1,541, was mit der empirisch gefundenen von 1,539 in überraschender Weise zusammenstimmt.

Die meisten Schriftsteller über das Auge sprachen von der Vereinigung des Lichtes, als wenn sie eine vollkommene wäre. Einige erwähnten zwar die Abweichung der Lichtstrahlen in Folge der Kugelgestalt, aber erst Sturm hat darauf aufmerksam gemacht, daß eine Aberration der Strahlen unvermeidlich dadurch herbeigeführt werden müsse, daß mehrere Krümmungsoberflächen der brechenden Medien nichts weniger als sphärisch, ja nicht einmal durch Umbrehung einer Curve um eine gemeinsame Axe regelmäßig gebildet wären. Derselbe entwickelt den Gang des Lichtes durch Medien mit ellipsoidischen Oberflächen, wie solche den neueren Untersuchungen zufolge dem Auge zukommen. Berücksichtigt man vorläufig nur die größte und die kleinste Krümmungsoberfläche des Ellipsoids, so liegen die Lichtstrahlen in zwei Ebenen, welche sich rechtwinklig schneiden. Ist, wie im Auge, die verticale Axe des Ellipsoids die kleinere, so werden die in ihre Ebene fallenden Strahlen zeitiger vereinigt, als die Strahlen, welche in der Ebene der größeren horizontalen Axe liegen. Die Brennpunkte liegen also in der optischen Axe hinter einander, und zwischen beiden erfährt das Licht die größte Concentration. Hiermit entsteht, statt des punktförmigen Focus, ein in die Länge gezogener Lichtraum. Die Gestalt des beleuchteten Areals ist in jedem Focus eine lineare und, indem beide Lichtlinien sich rechtwinklig kreuzen, entspricht dem vorderen Brennpunkte im Auge ein horizontaler, dem hinteren dagegen ein perpendicularer Lichtstreifen. Jeder dieser linearen Lichtstreifen geht, nach dem andern zuwärts, in die Gestalt einer Ellipse über, deren große Axe allmählig abnimmt, während die kleine sich vergrößert, bis die Ellipse zum Kreise wird. Es geht also der horizontale Lichtstreifen durch die Ellipse mit horizontaler Längenaxe in die Form des Kreises und aus dieser durch die Ellipse mit perpendicularer Längenaxe in den senkrechten Lichtstreifen über <sup>2)</sup>. — Bei einem Herrn Airy machten sich diese Brechungsverhältnisse in dem Grade geltend,

<sup>1)</sup> Das Parabore der Senff'schen Angabe verschwindet bei folgender Betrachtung: Wenn der stark brechende Kern einer Linse von einer wenig brechenden Substanz umgeben würde, deren vorderer und hinterer Krümmungshalbmesser unendlich groß wäre, so müßte das durch eine solche Linse durchtretende Licht noch immer gesammelt werden. Würde man dagegen bei einer so gestalteten Linse der äußeren wenig brechenden Schicht die Brechungskraft des Kernes ertheilen, so würde nunmehr das Licht nicht mehr gesammelt werden können, oder vielmehr in unendlich geringem Maße. Senff's Beobachtung kommt darauf hinaus, zu zeigen, daß die inneren Schichten der Linse nicht nur durch zunehmende Dichtigkeit, sondern auch durch zunehmende Convergenz wirken.

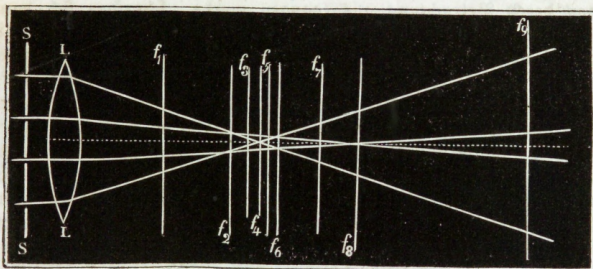
<sup>2)</sup> Comptes rendus. 1845. Nr. 9. 11. 17.



daß er einen entfernten leuchtenden Punkt als einen queren Lichtstreifen erblickte. Derselbe bemerkte, daß von zwei schwarzen Linien, welche sich rechtwinklig kreuzten, abwechselnd die eine oder die andere dem Gesichte entchwand, je nachdem das Kreuz vom Auge entfernt oder demselben genähert wurde. In Uebereinstimmung mit der Theorie von Sturm ist auch die Bemerkung von Young, daß Lichtstrahlen, welche in horizontaler Richtung von einem leuchtenden Objecte ausgingen, bei 10'' Entfernung desselben in seinem Auge vereinigt wurden, dagegen perpendiculär einfallende Strahlen bei einer Entfernung von 7 Zollen.

Nur wenig Augen werden im Stande sein, sich von der Richtigkeit der Sturm'schen Theorie, welche übrigens mathematisch unangreifbar ist, auf experimentellem Wege zu überzeugen; dagegen kann ich auf eine Art von Versuchen aufmerksam machen, welche die Lichtzerstreuung jedem nur leidlich scharfen Auge bemerklich machen. — Um die Experimente zu verstehen, muß man wissen, was entsteht, wenn eine Linse das Licht, welches durch sie hindurch geht, nicht in einem Punkte vereinigt. Es sei in Figur 8  $L L$  eine Linse, in welcher die Randpartien stärker brechen als deren Mitte; es seien ferner  $a b c d$  Lichtstrahlen, welche durch vier Oeffnungen eines durchlöchernten Schirmes  $S S$  auf die Linse fallen, so zeigt die Figur, an welchen Punkten ein Hintergrund, welcher mehr oder weniger weit von der Linse aufgerichtet ist, wie  $f 1, f 2 \dots f 9$ , von jedem Lichtstrahle getroffen wird.

Fig. 8.



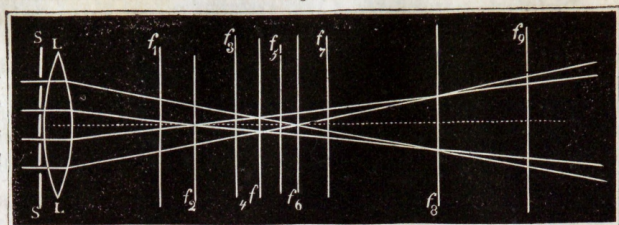
Man sieht, wie nach Maßgabe der Entfernung des Hintergrundes von der Linse, sowohl die Zahl, als die relative Lage der Bilder sich ändert. So finden sich z. B. auf  $f 1$  vier Bilder, auf  $f 2$  nur zwei u. s. w.; ferner ist auf  $f 1$  und  $f 9$  die Reihenfolge der Bilderchen genau die umgekehrte. Sollte auf jedem der 9 Hintergründe die Lage der Bilder durch die Buchstaben der Lichtstrahlen bezeichnet werden, von welchen sie abhängen, so würde die Zahl und Ordnung der Bilder durch folgendes Schema verfinnlicht.

Fig. 8<sup>1</sup>.

$f 1$	$f 2$	$f 3$	$f 4$	$f 5$	$f 6$	$f 7$	$f 8$	$f 9$
$a$						$d$	$d$	$d$
$b$	$a$	$b$	$b$	$b$	$b$	$d$		$c$
$c$			$a$	$d$		$b$	$b$	$c$
$d$	$c$	$d$	$c$	$a$	$a$	$c$	$a$	$b$
		$c$		$c$		$a$		$a$

Ganz andere Verhältnisse zeigen sich bei einer Linse, in welcher die Randstrahlen weniger gebrochen werden, als die mittleren, wie ohne weitere Erläuterung sich aus Figur 9 ergeben wird.

Fig. 9.

Fig. 9<sup>1</sup>.

f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f8	f9
a								d
b	a		a	c	c	c	d	c
c		a	c	a	d	d		
d	b	b	d	b	b	a	a	b
	d	d				b	b	a

Wiederum anders gestalten sich die Verhältnisse in einer Linse, welche von den Fehlern der sphärischen Aberration frei ist. Die 4 Lichtstrahlen, von deren Betrachtung ausgegangen wurde, schneiden sich dann in einem Punkte, wovon die Folge ist, daß auf dem Hintergrunde nur ein Bildchen, oder, bei ungehöriger Distanz desselben von der Linse, deren 4 erscheinen. Dabei erfährt die Ordnung der Bilder nur eine einmalige Veränderung, nämlich eine Total-Inversion hinter dem Kreuzungspunkte der Lichtstrahlen, dagegen bleiben die respectiven Nachbarschaften derselben ganz unverändert.

Es soll nun entschieden werden, welches der angegebenen 3 Verhältnisse im Auge stattfindet. Zu dem Zwecke lasse ich Lichtstrahlen durch 4 nahe bei einander gelegene Löcherchen eines Schirmes in das Auge fallen. Freilich kann der Hintergrund, auf welchem die Bilder sich darstellen, die Netzhaut nämlich, nicht wie in den vorhergehenden Versuchen verschoben werden, dagegen kann man das Object verschieben, von welchem das Licht in's Auge fällt, und es ist für die Vereinigung der Lichtstrahlen gleichgültig, ob man bei feststehendem Objecte die Distanz des Hintergrundes, oder bei fixirtem Hintergrunde die Distanz des Objectes von der Linse verändert.

Der bekannte Scheiner'sche Versuch lehrt bereits, daß man durch 4 Kartenlöcher ein in passender Sehweite gelegenes Object einfach, dagegen ein in unpassender Entfernung gelegenes vierfach sieht. Will man die Zerstreuung des Lichtes constataren, so sind folgende Maßregeln nöthig: Man gebe den 4 Löchern im Schirme folgende Stellung . . ., denn nur in diesem Falle wird man bequem über die Ordnung der Bilder urtheilen können, welche nach dem Vorausgeschickten für die Entscheidung der Frage so wichtig ist. Gesezt nämlich, man sähe einen einfachen Punkt durch die 4 Löcher vierfach, so werden unvermeidlich 2 Punktbilder mehr nach oben und 2 mehr nach unten liegen, und es wird also, wenn die Ordnung der Bilder eine Veränderung erfährt, auch die relative Lage der beiden oberen Punkte zu den beiden unteren sich ändern. Als Object der Beobachtung wählt man am passendsten sehr feinen Draht, z. B. eine sehr feine, wohl polirte Nähnadel. Da die Löcher, durch welche man beobachtet, äußerst klein



sein müssen und folglich wenig Licht durchlassen, so muß man für eine besonders günstige Beleuchtung sorgen. Man experimentire entweder in reflectirtem Sonnenlichte, vor einem schwarzen Hintergrunde oder bei Lampenlicht, so daß die Nadeln gegen ein erleuchtetes Milchglas sich als Schatten absetzen. Ist das Object, welches man beobachtet zu dick, so verschmelzen die Bilder unter einander, wo sie noch Distanzen zeigen sollten, ist es zu fein (z. B. ein Spinnwebfaden), so wird es wegen Lichtmangel in größerer Entfernung gar nicht erkannt.

Das merkwürdige Resultat meiner Untersuchungen ist nun dieses, daß Augen von ganz entgegengesetzten Brechungsverhältnissen vorkommen, solche, wo die Randstrahlen des einfallenden Lichtkegels stärker gebrochen werden, als die der optischen Axe näher liegenden Strahlen, und umgekehrt <sup>1)</sup>. Der entschiedenste Beweis für die Richtigkeit dieser Bemerkung läßt sich durch eine graphische Darstellung des Geschehenen geben. — Die Professoren E. H. Weber, Marchand, ich selbst und zwei meiner Zuhörer sahen eine Nadel,

Fig. 10.

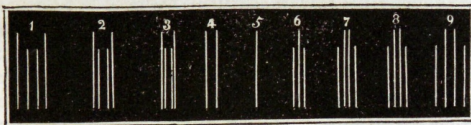
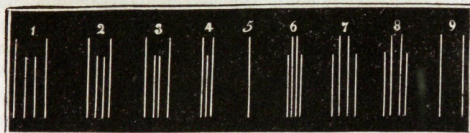


Fig. 11.



welche anfangs nur 2 Zoll weit vom Auge aufgesteckt und dann allmählig bis auf 24" entfernt wurde, in nebenstehenden Bildern: (Fig. 10.)

Die Professoren Wilhelmu. Eduard Weber, Dr. Förster und mein Assistent, Hr. Hüttenheim, bezeichneten dagegen eine Ordnung der Bilder, wie in Fig. 11:

Es ist einleuchtend, daß die unter Figur 10 bemerkte Bilderfolge einer Linse angehört, deren Rand stärker bricht, als ihre Mitte. Das Bild Nr. 3 entspricht der Lage des Hintergrundes  $f$  1 (bei Fig. 8) das Bild Nr. 4 correspondirt mit  $f$  2, das Bild Nr. 5 umfaßt alle Brechungsverhältnisse zwischen  $f$  3 und  $f$  7, wo die verschiedenen Netzhautbilder so nahe beisammen liegen, daß sie nur eine Empfindung vermitteln, das Bild Nr. 6 entspricht dem Falle von  $f$  8 und das Bild Nr. 9 dem von  $f$  9.

Dagegen entspricht die unter Figur 11 gesehene Ordnung der Bilder sichtlich der Strahlenbrechung einer Linse, deren mittlere Partien eine stärkere brechende Kraft ausüben. Um nicht unnötig weitläufig zu werden, bemerke ich nur, wie in der ersten Beobachtungsreihe (Figur 10) die beiden mittleren Nadelbilder sich allmählig den äußeren nähern und, mit diesen verschmelzend, aus 4 Erscheinungen 2 herstellen, während in der zweiten Reihe (Fig. 11) die beiden mittleren Nadelbilder sich gegenseitig nähern und durch endliches Zusammenfallen aus 4 Bildern nicht 2, sondern 3 herstellen.

### C. Chromasie des Auges.

In der Regel erscheinen die Gesichtsobjecte ohne farbige Ränder, hier-

<sup>1)</sup> Man berücksichtige, daß ohne besondere Maßregeln, deren Auseinandersetzung hier zu weit führen würde, nur kurzsichtige, aber scharfe Augen die nachstehend beschriebenen Erscheinungen constatiren können.



auf beruht es, daß nicht selten das Auge für ein achromatisches Werkzeug gehalten wurde. Ein solches könnte unser Sehorgan nur dann sein, wenn die Spaltung des weißen Lichtes in seine farbigen Elemente, welche durch die Brechung desselben in den vorderen Medien des Auges unvermeidlich zu Stande kommt, durch die hinteren Medien corrigirt würde, d. h. wenn die durch das Brechungsvermögen des ersten Mediums zerstreuten Farbenstrahlen durch eine entgegengesetzte Brechung, in einem zweiten Medium, wieder vereinigt würden. Eine Einrichtung des Auges, welche diesen Ansprüchen genügte, ist nicht nur nicht nachweisbar, sondern das Auftreten farbiger Säume, unter gewissen Umständen, beweist auch, daß sie wirklich nicht vorhanden sei.

Verhältnisse, unter welchen farbige Ränder bemerkt werden, sind beispielsweise folgende: 1) Man betrachte das Fensterkreuz gegen weiße Wolken und schiebe eine Karte ganz nah am Auge allmählig über die Pupille, so erscheinen die Farbensäume, sobald die Pupille zur Hälfte bedeckt ist. Hat man das horizontale Stück des Kreuzes in's Auge gefaßt, und verdeckt die obere Hälfte der Pupille, so erscheint am unteren Rande des Objectes ein rothgelber Farbensaum, am oberen ein blauer; hat man dagegen den unteren Abschnitt der Pupille verdeckt, so treten dieselben Farben in umgekehrter Ordnung auf. Gleichgültig ist, ob man das Fensterkreuz in der Nähe oder aus der Ferne betrachtet, so daß die verschiedenen Accommodationszustände des Auges auf die Ordnung der Farben ohne Einfluß sind. — 2) Man steche in ein Kartenblatt ein Loch und betrachte durch dasselbe eine Nadel gegen einen weißen Hintergrund. Wenn sich das Loch nicht gerade vor der Mitte der Pupille befindet, so zeigt die Nadel auf der einen Seite einen blauen, auf der andern einen rothgelben Saum, und zwar zeigt sich letzterer stets an dem Conture der Nadel, nach dessen Seite das Loch von der Mitte der Pupille abweicht. Die Ordnung der Farben bleibt dieselbe, mag die Nadel diesseits oder jenseits der deutlichen Sehweite liegen. — 3) Wenn man im Scheiner'schen Versuche eine Nadel durch 2 Kartenlöcher doppelt sieht, so zeigen sich ebenfalls farbige Ränder. Ist das Doppelbild durch zu große Nähe des Objectes veranlaßt, so erscheinen die von einander abgewendeten Ränder der Nadeln blau, die einander zugewendeten rothgelb; befindet sich dagegen die Nadel jenseits der deutlichen Sehweite, so ist die Lage der Farbensäume die umgekehrte.

Sehr entscheidend für den vorliegenden Gegenstand ist auch eine Beobachtung Frauenhofer's <sup>1)</sup>. Hat man im Gesichtsfelde des Fernrohrs am Theodolith die rothe Farbe des Spectrums und ist das Ocular so gestellt, daß man den Mikrometerfaden vollkommen deutlich sieht, so verschwindet letzterer, wenn man die blaue Farbe des Spectrums in das Gesichtsfeld bringt. Um ihn wieder deutlich zu sehen, muß das Ocular bedeutend viel dem Faden näher gerückt werden, und zwar um mehr als das Doppelte der Längenabweichung wegen der Farbenzerstreuung der Ocularlinse. Dies beweist, daß die verschiedenen farbigen Strahlen im Auge nicht einerlei Vereinigungsweite haben, und daß das Auge nicht achromatisch ist.

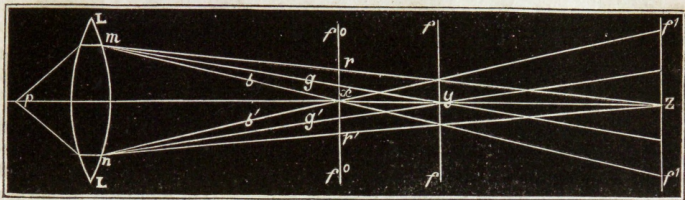
Unter diesen Umständen bleibt nur die Frage übrig, warum wir die Farbenzerstreuung nicht unter allen Umständen wahrnehmen? Eine genügende Antwort hierauf läßt sich nur mit Bezugnahme auf die Theorie der Farbenzerstreuung geben. — Gesezt, man hätte eine Linse, welche von

<sup>1)</sup> Gilbert's Annalen. Bd. LVI. S. 304.



dem Fehler der sphärischen Aberration frei wäre, so würde auch in dieser eine Lichtzerstreuung stattfinden müssen, weil die verschiedenen Farbenstrahlen in demselben brechenden Mittel eine verschiedene Brechung erfahren. Berücksichtigen wir der Kürze wegen nur die drei Hauptfarben, so wird das blaue Licht stärker gebrochen, als das gelbe, und dieses stärker als das rothe. In Figur 12 sei  $L L$  die Linse,  $p$  ein leuchtender Punkt und  $p m$ ,  $p n$  die Grenzstrahlen eines einfallenden Lichtkegels, so können  $b b'$  die blauen,  $g g'$  die gelben und  $r r'$  die rothen Farbenstrahlen bedeuten, welche ihre respectiven Brennpunkte bei  $x y z$  bilden.

Fig. 12.



Die Betrachtung der Figur ergibt bereits, daß es für die Erscheinungen der Chromastie nicht gleichgültig sein könne, in welcher Entfernung von der Linse die Focalebene zu stehen komme. Liegt die Focalebene bei  $f f$ , wo die größte Concentration des Lichtes stattfindet, so würde, eben weil die verschiedenen Farben überaus nah beisammenliegen und theilweise sich decken, die Farbenzerstreuung hier weniger merkbar sein, als wenn man die Focalebene bei  $f^0 f^0$ , der Linse zu nah, oder bei  $f' f'$ , von derselben zu fern, legt. Das menschliche Auge erblickt in der Entfernung des deutlichsten Sehens die Farbenränder gar nicht, unstreitig weil die Farbenzerstreuung in Folge einer gewissen Compensation der brechenden Mittel unter einander überhaupt gering und deshalb, in der günstigsten Focalweite, für unser beschränktes Empfindungsvermögen = 0 ist.

Die Figur lehrt auch, wie in der passenden Sehweite (repräsentirt durch die Focalebene  $f f$ ) die eine Hälfte der Linse eine compensirende Kraft der anderen Hälfte gegenüber ausübt, denn indem die eine Hälfte die zerstreuten Farben in umgekehrter Ordnung auf die Focalebene trägt, als die andere, so entsteht wenigstens eine theilweise Deckung der verschiedenen Farben und hiermit Zurückführung zum ursprünglichen weißen Lichte. Auf diese Weise erklärt es sich, warum Verdeckung der halben Pupille mittelst einer Karte Farbensäume hervorruft, welche außerdem nicht bemerkt werden. — Eine ausführliche und gründliche Untersuchung des vorliegenden Gegenstandes verdanken wir Tourtual <sup>1)</sup>.

#### D. Einrichtung des Auges für verschiedene Entfernungen.

Aus einem vorhergehenden Abschnitte ergibt sich bereits, daß der Sammelpunkt der Lichtstrahlen von dem Winkel abhängt, in welchem sie in's Auge fallen. Ist der Sehapparat so eingerichtet, daß er Lichtstrahlen eines Objectes von bestimmter Entfernung auf der Netzhaut vereinigt, so kann er

<sup>1)</sup> Meckel's Archiv. 1830. S. 129.



nicht gleichzeitig geeignet sein, auch Lichtstrahlen eines zweiten, entweder näheren oder ferneren, Gegenstandes auf derselben zusammenzubrechen.

Die vollständige Demonstration dieser Behauptung hängt von dem Gesetze ab, daß das Verhältniß zwischen dem Sinus des Einfallswinkels und dem Sinus des Brechungswinkels sich gleich bleibt, mag auch die Neigung des einfallenden Strahles gegen das brechende Mittel eine große oder kleine sein. Hieraus ergibt sich dann weiter: 1) Wenn das Auge für entfernte Gegenstände eingerichtet ist und das Licht derselben auf der Netzhaut vereinigt, so werden die Strahlen jedes näher liegenden Objectes erst hinter der Netzhaut zur Vereinigung kommen. — 2) Wenn das Auge für ein nahes Object eingerichtet ist und dessen Lichtstrahlen auf der Netzhaut sammelt, so wird der Focus für alles aus größerer Ferne einfallende Licht vor der Netzhaut fallen. — Ueberhaupt liegt der Focus jedes näheren Objectes weiter nach hinten, als der eines entfernteren, und umgekehrt der Focus jedes entfernteren Gegenstandes mehr nach vorn, als der eines näheren.

In jedem Falle, wo der Focus nicht auf die Netzhaut fällt, wird auf dieser statt eines beleuchteten Punktes, eine beleuchtete Scheibe gebildet, deren Lichtintensität in demselben Grade geringer sein muß, als das Areal größer ist, auf welchem das Licht zerstreut wird. Liegen nun zwei leuchtende Punkte unmittelbar neben einander und in passender Entfernung vom Auge, so liegen die beleuchteten Netzhautpunkte, welche sie repräsentiren, ebenfalls unmittelbar neben einander. Werden dagegen dieselben leuchtenden Punkte bei unpassender Refraction gesehen, so können die Zerstreuungskreise derselben nicht neben einander Platz finden, sondern müssen ineinander übergreifen. Hierunter leidet die Deutlichkeit. Man denke sich nur, daß jeder Punkt einem andersfarbigen Lichtstrahle angehöre, so übersieht man gleich, daß bei diesem Vorgange eine gewisse Confusion der Empfindungen entstehen müsse.

Der im Vorbergehenden erörterte Einfluß der Entfernung auf die Deutlichkeit der Bilder, erlaubt keine Zweifel, indem das Auftreten von Zerstreuungskreisen, bei unpassender Sehweite, die unvermeidliche Folge optischer Geseze ist. Dessenungeachtet suchte *Treviranus* zu erweisen, daß wir mit Hilfe einer geschichteten Krystalllinse sowohl nahe als ferne Gegenstände gleich deutlich sehen könnten<sup>1)</sup>. Daß der treffliche Physiolog durch verfehlte Benützung mathematischer Formeln auf falsche Resultate gekommen, hat Dr. *Kohlrausch* theoretisch nachgewiesen; aber schon die physiologischen Erfahrungen sind ausreichend, das Irrige jener Behauptungen darzuthun.

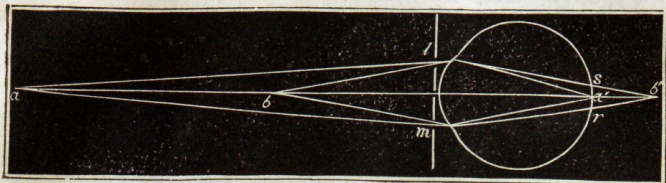
Ein besonders einleuchtender Beweis, daß das Auge die Fähigkeit nicht besitze, Gegenstände von verschiedenen Entfernungen gleich deutlich zu sehen, ist der von *Scheiner*. Man sticht durch eine Karte zwei kleine Löcher, etwa in der Distanz einer Linie, und betrachtet durch diese zwei Nadeln, deren eine näher, die andere ferner aufgesteckt ist, so nämlich, daß beide in die Sehaxe und innerhalb der Grenzen des deutlichen Sehens zu stehen kommen. Fixirt man nun beliebig die eine oder die andere Nadel, so erscheint jedesmal die nicht fixirte doppelt und nur die fixirte einfach. Der Grund ist folgender: Es sei in Fig. 13 *a* die entferntere Stednadel und das Auge für diese eingerichtet. Es sei ferner *b* die zu nahe gelegene Nadel, und *l m* das doppelte Kartenloch. Die von *a* ausgehenden Strahlen *a l* und *a m* werden auf der Netzhaut bei *a'* vereinigt, die von *b* einfallenden Strahlen dagegen *b l* und *b m* vereinigen sich erst hinter derselben bei *b'*. Daher treffen die

<sup>1)</sup> Ueber die blättrige Textur der Krystalllinse des Auges. Bremen 1835.



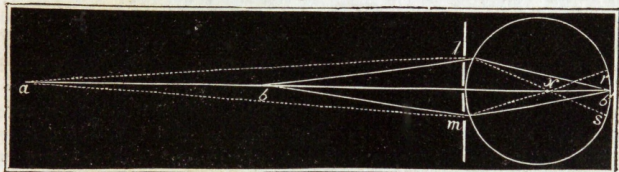
Strahlen von  $b$ , welche durch  $l$  in's Auge dringen, die Netzhaut bei  $s$ , während die durch  $m$  einfallenden dieselbe bei  $r$  treffen. So entstehen zwei blasse Bilder bei  $r$  und  $s$ , statt eines einzigen und intensiv beleuchteten bei  $a'$ .

Fig. 13.



Fixirt man dagegen  $b$ , so erscheint dieses einfach und  $a$  wird doppelt. Der Grund hiervon ergibt sich aus Figur 14. Da das Auge für  $b$  passend eingerichtet ist, so vereinigen sich die Lichtbündel  $b l$  und  $b m$  auf der Netzhaut und formiren ihr Bild im Brennpunkte des Auges bei  $b'$ . Unter diesen Umständen liegt  $a$  zu fern, die Strahlen  $a m$  und  $a l$  haben ihren Focus bei  $x$  und der ausfahrende Strahl  $l x$  geht weiter nach  $s$ , desgleichen geht  $m x$  weiter nach  $r$ , so daß sich zwei blasse Bilder bei  $r$  und  $s$  statt eines einzigen bei  $b$  gestalten.

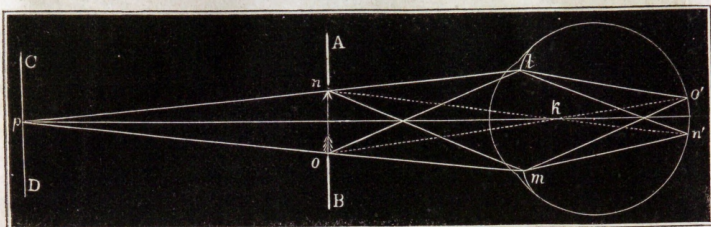
Fig. 14.



Die Richtigkeit dieser Deutungen ergibt sich aus Folgendem. Verschließt man während der Beobachtung das eine der Kartenlöcher, so verschwindet im ersten Experimente, bei ungehöriger Nähe der Nadel, das Bild der entgegengesetzten Seite, im zweiten Versuche dagegen, wo die Nadel zu fern steht, das Bild der entsprechenden Seite. Man erinnere sich zunächst an die Erfahrung, daß die Lage, in welcher uns Gegenstände erscheinen, die umgekehrte von der ist, in welcher ihr Bild auf der Netzhaut sich wirklich darstellt. Verschwindet bei unpassender Nähe der Nadel das gegenüberliegende Bild, so mußte das Netzhautbildchen auf der Seite des verschlossenen Loches liegen, eine Anordnung, welche nur möglich ist, wenn die gebrochenen Lichtstrahlen erst hinter der Netzhaut vereinigt werden, wie Fig. 13 angiebt. Wenn dagegen, bei ungeeigneter Entfernung des Objectes, Verschluß eines Kartenloches das Bild der entsprechenden Seite verschwinden macht, so müssen diesmal Kartenloch und Netzhautbildchen auf entgegengesetzten Seiten gelegen sein. Figur 14 zeigt, daß dieser Fall durch eine Kreuzung der Lichtstrahlen vor der Netzhaut bedingt ist. Beide Fälle beweisen also, daß das Licht zu naher und zu ferner Objecte nicht auf der Netzhaut, sondern respective vor und hinter ihr vereinigt wird, und zwar nach Gesetzen, welche durch die Theorie der Linsengläser gegeben sind. Es würde sehr leicht sein, noch viele Erfahrungen anzuführen, welche auf das Schlagendste beweisen, daß das Auge nur die Gegenstände deutlich sieht,

welche in passender Sehweite liegen <sup>1)</sup>; aber es scheint angemessener, im Allgemeinen nachzuweisen, wie die von Treviranus aufgestellte Behauptung auf unmöglichen Voraussetzungen beruhe. Zwar ist der Beweis, daß Lichtstrahlen, welche von Objecten verschiedener Entfernungen ausgehen, nicht in derselben Focalebene gesammelt werden können, schon in einem früheren Abschnitte (IV. A.) gegeben worden, doch werden Leser, welche in mathematischen Betrachtungen weniger geübt sind, folgende Darstellung verständlicher finden.

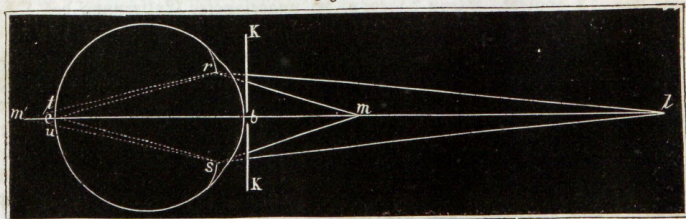
Fig. 15.



Treviranus behauptet, daß ein Object in der dem Auge nahe gelegenen Ebene  $AB$  weder deutlicher noch undeutlicher erscheine, als ein anderes in der entfernten Ebene  $CD$ . Gesezt nun, es liege  $n o$  in passender Sehweite, so vereinigen sich alle Strahlen des Lichtkegels  $l o m$  bei  $o'$ , desgleichen alle Strahlen des Kegels  $l n m$  bei  $n'$ . Hieraus folgt, daß der Strahl  $n l$  nach  $n'$  und der Strahl  $o m$  nach  $o'$  gebrochen werde, wie schon der Gang der durch den Kreuzungspunkt  $k$  gezogenen Richtungslinien  $o k o'$  und  $n k n'$  andeutet. Gesezt ferner, ein leuchtender Punkt läge in der entfernten Ebene  $CD$  da, wo die verlängerten Strahlen  $l n$  und  $m o$  in  $p$  sich schneiden, so müssen die von  $p$  ausgehenden Strahlen  $p n l$  und  $p o m$  auf dieselben Stellen der Netzhaut treffen, als die Strahlen  $n l$  und  $o m$ , nämlich auf  $n'$  und  $o'$ , indem die größere Entfernung, aus welcher die ersteren herkommen, auf die Richtung des Weges ohne allen Einfluß ist. Hieraus folgt schließlich, daß der leuchtende Punkt  $p$  und das aus vielen leuchtenden Punkten zusammengesetzte Object  $n o$  ein gleich großes Bild vom Durchmesser  $n' o'$  bedingen, und mehr ist nicht nöthig, um zu beweisen, daß das von  $p$  aus in's Auge fallende Licht eine Zerstreuung erfahre.

Diese Deduction wird durch ein interessantes Experiment von Mile noch anschaulicher. Es sei in Fig. 16  $k k$  eine Karte, in welche man ein feines Loch bei  $b$  gestochen, und  $l m$  zwei Stecknadeln, welche man, in einiger Entfernung hinter einander, in der Visirlinie aufgerichtet hat.

Fig. 16.



<sup>1)</sup> Man vgl. meine Beiträge S. 107.



Befindet sich nun  $m$  in passender Sehweite, und folglich  $l$  in zu großer Ferne, so bemerkt man bei seitlicher Verschiebung der Karte, daß die sich anfänglich deckenden Nadeln auseinander treten. Die in passender Sehweite aufgesteckte Nadel  $m$  behauptet bewegungslos ihren Stand, die zu fern liegende Nadel  $l$  dagegen bewegt sich mit dem Diopter in entsprechender Richtung. — Befindet sich aber die entfernte Nadel  $l$  in passender Sehweite, und steht  $m$  dem Auge zu nahe, so dreht die Erscheinung sich um, die entfernte Nadel bleibt, wenn der Diopter verschoben wird, ruhig, und bloß das Bild der zu nahe gelegenen Nadel bewegt sich, diesmal in der entgegengesetzten Richtung der Karte.

Die Erklärung des Phänomens liegt offenbar in Folgendem. Abstrahirt vom Einflusse der Karte, welche einen Theil des Lichtes auffängt, so sendet jede Nadel einen divergirenden Lichtkegel in's Auge, dessen Basis die Weite der Pupille  $r\ s$  ist. Gesezt,  $l$  befände sich in passender Sehweite, so würde das divergirende Strahlensystem  $r\ l\ s$  bei  $c$  vereinigt. Hier kann Verschiebung der Karte keine Verrückung des Netzhautbildes und folglich auch keine Bewegung der durch dasselbe bedingten Gesichtserscheinung veranlassen. Denn wenn die Diopteröffnung in der Weise verrückt würde, daß nur der Strahl  $l\ r$  in's Auge fallen könnte, so müßte, weil  $c$  der Focus aller Strahlen ist, auch  $l\ r$  nach  $c$  kommen, wie die Figur angiebt. Anders verhält es sich mit einem zu nahe liegenden Lichtpunkte  $m$ . Indem das von ihm ausgehende Licht erst hinter der Netzhaut bei  $m'$  vereinigt wird, bildet sich auf dieser ein Zerstreuungskreis vom Durchmesser  $t\ u$ . Befindet sich nun das Kartenloch in der Verlängerung der Sehaxe, so gelangt der Lichtstrahl  $m\ b$  wiederum nach  $c$  und die Bilder der Nadeln decken sich, verschiebt man dagegen die Karte in der Weise, daß nur der Strahl  $m\ r$  von  $m$  aus in's Auge gelangt, so schneidet der ausfahrende Strahl  $r\ m'$  die Netzhaut bei  $t$  und die Nadelbilder trennen sich. Der Grund, warum in dem einen Falle die Bewegung des Bildes der des Diopters folgt, im andern Falle entgegengesetzt ist, ergibt sich aus dem, was bei Erörterung des Scheiner'schen Versuches ausführlich behandelt wurde.

Die hier mitgetheilten Thatsachen, zu welchen noch meine neuen Erfahrungen über die Bildung des Focus gerechnet werden können, beweisen auf das Bündigste, daß das Auge keineswegs das Vermögen besitzt, Licht, welches aus verschiedenen Entfernungen einfällt, mit gleicher Vollkommenheit auf der Netzhaut zu sammeln. Wenn Magendie, Goldat und Valentin auf experimentellem Wege zu anderen Resultaten kommen, so liegt dies nur an der Mangelhaftigkeit ihrer Beobachtungsmethode. Goldat fing das Licht, welches durch eine Krystalllinse getreten war, auf einem Hintergrunde auf und meinte zu finden, daß Lichtstrahlen, gleichviel ob sie aus der Ferne oder aus der Nähe einfelen, auf demselben Hintergrunde gesammelt wurden. Magendie beobachtete die Netzhautbildchen an dem präparirten Auge eines weißen Kaninchens und fand die Deutlichkeit derselben von der Entfernung unabhängig. Valentin will sogar gefunden haben, daß Magendie's Behauptung auch für das künstliche Auge gelte. Abgesehen davon, daß ich bei Wiederholung der Versuche entgegengesetzte Resultate bekam, ist einleuchtend, daß selbst eine Bestätigung derselben bedeutungslos gewesen sein würde. Beobachtet man die Lichtbilder auf einem anderen Hintergrunde, als auf der eigenen Netzhaut, so unterliegen ihre Zerstreuungskreise derselben Verkleinerung, welche alle Objecte erfahren, welche im Auge sich bildlich darstellen. Bei einer Sehweite von  $10''$  ist das Netzhautbildchen gegen 16mal kleiner



als das Object, und wenn Jemand, um die Deutlichkeit eines Lichtbildes zu beurtheilen, dasselbe, statt es auf der eigenen Netzhaut aufzufangen, auf einem fremden Hintergrunde auffängt, der verkleinert dasselbe, wo zur Entscheidung der Zweifel Vergrößerung Noth thäte. Hätten Soldat und Magendie die Bilder, welche sie untersuchten, bei 16maliger Vergrößerung beobachtet, so hätten sie erst den Grad der Genauigkeit erreicht, der bei directer Beobachtung der Lichtbilder im eigenen Auge ganz ohne optische Hülfe stattfindet<sup>1)</sup>.

Die alltägliche Erfahrung lehrt, daß wir Gegenstände der verschiedensten Entfernungen in der Zeitfolge gleich deutlich sehen können, und da dies gleichzeitig nicht möglich ist, so muß das Auge das Vermögen besitzen, sich der Entfernung entsprechend einzurichten. Wir nennen diese Fähigkeit Einrichtungs- oder Accommodationsvermögen. Verschiedene Individuen besitzen es in sehr verschiedenem Maße.

Kein Mensch kann Objecte deutlich sehen, welche dem Auge über einen gewissen Punkt genähert werden, und ebenso besteht für die meisten Menschen, wenn nicht für alle, ein entferntester Punkt, über welchen hinaus ein vollkommen deutliches Sehen nicht möglich ist. Ich habe verschiedene unheimlich scharfsichtige Personen den Scheiner'schen Apparat benutzen lassen, ohne Jemand zu finden, welcher eine unbegrenzte Accommodationskraft für die Entfernung besessen hätte. Huec kannte scharfsichtige Personen, bei welchen kleine wie große Objecte bei äußerst verschiedenen Sehweiten unter fast gleichen Gesichtswinkeln verschwanden, und folgert hieraus, daß ihre Augen sich für jede Entfernung zu accommodiren vermöchten. Insofern nun Gegenstände, welche bei falscher Accommodation gesehen werden, unter größeren Gesichtswinkeln dem Auge verschwinden, als Objecte, deren Licht auf der Netzhaut vereinigt wird, scheinen jene Erfahrungen allerdings beachtungswerth<sup>2)</sup>. Huec nannte die beiden Punkte, zwischen welchen absolut deutlich gesehen werden kann, Fernpunkt und Grenzpunkt und giebt an, daß bei einigen Menschen beide zusammenfallen.

An das Vorhergehende knüpft sich die Frage, für welche Ferne das ruhende Auge adaptirt sei? Ich meinte früher für eine mittlere, und glaubte, daß sowohl die Einrichtung des Auges für ferne als für nahe Gegenstände eine Thätigkeit voraussetze. Ich stützte mich hierbei auf ein gewisses Gefühl der Anstrengung, welches mit dem Fixiren ferner Objecte verbunden ist, ein Gefühl, welches freilich auch andere Deutungen zuläßt. Zwei Gründe bestimmten mich gegenwärtig anzunehmen, daß das Auge im Zustande der Ruhe für seinen Fernpunkt accommodirt sei. — Erstens ist erwiesen, daß Augenstellung und Accommodation beim natürlichen Sehen zusammenpassen, und daß dieses, durch Gewohnheit uns zur andern Natur gewordene Zusammenpassen beider Thätigkeiten, nur in einigen wenigen Fällen und unter erkünstelten Verhältnissen aufhört. Da nun die ruhenden Augen, wenn auch nicht auf die unendliche Ferne, doch auf einen Punkt gerichtet sind, welcher viel weiter abwärts liegt, als der Fernpunkt der Accommodation, und da ferner die Stellung des ruhenden

<sup>1)</sup> Werling, welcher die Netzhautbilder mit der Lupe prüfte, konnte nicht nur die verschiedene Deutlichkeit derselben unterscheiden, sondern sogar die verschiedenen Entfernungen des Focus von der Netzhaut, mittelst der Paralaxe der Bilder, messen. Poggendorff's Annalen. 1839. S. 243.

<sup>2)</sup> Freilich ist nur von fast gleichen Gesichtswinkeln die Rede, wodurch die Beweiskraft der Huec'schen Erfahrung um so mehr beeinträchtigt wird, als für Gegenstände, welche jenseits der deutlichen Sehweite liegen, die Differenz der Entfernung nur überaus wenig Einfluß auf die Größe der Zerstreuungskreise hat.



den Auges nicht etwa mit absoluter Unthätigkeit der Muskeln, sondern nur mit einer minder lebhaften (Tonus) verbunden ist, so ist unwahrscheinlich, daß Kreuzung der Augenaxen jenseits des Fernpunktes mit einer Accommodation diesseits verbunden sein sollte. — Ein zweiter, wie mich dünkt ziemlich entschiedener Grund für die Ansicht, daß das ruhende Auge für den Fernpunkt adaptirt sei, stützt sich auf folgende Beobachtungen. Wenn ich durch zwei Kartenschlöcher einen Faden mit einem Auge betrachte, welcher nun im gekreuzten Doppelbilde erscheint, und dann das Auge abwechselnd und unbefangen öffne und schliesse, so liegt die Kreuzungsstelle jedesmal an demselben Punkte, und ich bin zwar im Stande, diese Stelle dem Auge näher zu bringen, nicht aber sie in größere Ferne zu verlegen. Accommodire ich mein Auge für einen nähern Punkt des Fadens, so daß ich ihn einfach sehe, schliesse dann die Augen und öffne sie wieder, so liegt der Kreuzungspunkt der beiden Faden nicht mehr da, wo er vorher lag, sondern wiederum im Fernpunkte. Allem Anscheine nach bedürfen wir also zur Accommodation nur einer einseitigen Thätigkeit, nämlich nur einer solchen, welche die Focalweite vergrößert, ein Ergebnis, welches für die Untersuchung dieser noch dunkeln Thätigkeit nicht unwichtig ist.

Wir sind noch immer nicht im Stande, zu zeigen, worauf das Einrichtungsvermögen beruhe, wohl aber läßt sich nachweisen, daß die meisten Erklärungsversuche höchst unwahrscheinlich und manche vollkommen unhaltbar waren. Hierher rechne ich alle Hypothesen, welche Formveränderungen des Auges zu Hülfe nehmen. Eine derartige Behauptung ist die, daß die geraden Augenmuskeln den Bulbus gegen den unnachgiebigen Hintergrund der Augenhöhle zurückzögen, hierdurch die Hornhaut der Retina näherten und folglich die Augenaxe verkürzten. Allein das im Hintergrunde der Augenhöhle liegende Fettpolster ist kein unnachgiebiges, und ehe die verlangte Abplattung des Augapfels zu Stande kommen könnte, müßte er um ein Beträchtliches nach hinten gezogen werden. Galvanisirt man bei frisch getödteten Säugethieren das 3te Nervenpaar, so ist das Zurücktreten des Augapfels äußerst merklich, Beweis genug, daß ein mechanisches Hinderniß der Rückwärtsbewegung nicht vorhanden ist <sup>1)</sup>. In lebenden Säugern und Menschen kommt aber ein Zurücktreten der Augen in ihre Höhlen nicht vor, woraus zu folgern, daß wir die Thätigkeit der vier geraden Augenmuskeln ebenso wenig zu combiniren vermögen, als etwa die Thätigkeit eines oberen und unteren.

Hiermit fällt nicht nur die erwähnte Hypothese zusammen, sondern gleichzeitig eine zweite, nach welcher die combinirte Wirkung der 4 geraden Augenmuskeln das Auge in der Richtung des Quer- und Höhendurchmessers zusammenpressen und in der Dimension der Sehaxe verlängern sollten. Ich gestehe übrigens nicht zu begreifen, wie die geraden Augenmuskeln geeignet sein sollten, einen Druck der erwähnten Art auszuüben, da sie ihrer Lage nach sich nur zu einer Retraction des Augapfels verbinden könnten. Eher noch ließe sich denken, daß durch eine gleichzeitige Thätigkeit der schiefen Augenmuskeln eine Verlängerung des Augapfels durch Querdruck bewerkstelligt würde. In der That umgeben diese Muskeln das Auge einigermaßen ringförmig, wer aber die Schmalheit der Sehne des M. obliquus sup. und ihren winkelförmigen Verlauf von der Rolle nach hinten und unten in Rücksicht nimmt, wird bekennen müssen, daß die hier benutzte Mechanik zur Hervorbringung eines gleichmäßigen Drucks auf den Querdurchmesser sehr wenig geeignet ist. Fast noch mißlicher

<sup>1)</sup> Nach Ruete wird der Augapfel nach hinten gezogen, wenn die schiefen Augenmuskeln durchschnitten werden. Lehrb. der Ophthalmol. S. 14.



scheint es, daß eine combinirte Thätigkeit der schiefen Augenmuskeln den Bulbus nach innen ziehen und hiermit den Drehpunkt des Auges verrücken würde, dessen Unbeweglichkeit erwiesen ist. Ein Einwurf, der alle vorerwähnten Hypothesen zugleich trifft, ist der, daß ein Muskeldruck, welcher die Dimensionen des Auges veränderte, auch die Form der Hornhautkrümmung modificiren müßte, da doch Formveränderung dieser, wie später zu zeigen, nicht vorkommen.

Ist nach dem Gesagten jeder Antheil der äußern Augenmuskeln am Accommodationsgeschäfte sehr unwahrscheinlich, so ist mit Präcision erweisbar, daß die Einrichtung des Sehapparates von ihnen allein nicht ausgehe. Nicht nur Durchschneidung einzelner Augenmuskeln, wie bei der Operation des Schielens, sondern sogar Paralyse des 3ten Nervenpaares kann ohne erheblichen Nachtheil der Accommodationskraft ertragen werden <sup>1)</sup>. Dem ganz entsprechend kommen pathologische Zustände vor, wo das Einrichtungsvermögen, bei vollkommen freiem Muskelspiele des Auges periodisch beschränkt wird, ja ganz verloren geht. Die äußere Application von narkotischen Mitteln auf's Auge rückt die Fläche des bequemsten Sehens in eine größere Ferne, während sie das Einrichtungsvermögen für ferne und mehr noch für nahe Gegenstände beschränkt, gleichwohl haben diese Mittel auf das Spiel der äußeren Augenmuskeln keinen Einfluß.

Sollten nun Formveränderungen des Auges die Einrichtung für nahe und ferne Gegenstände vermitteln, so bliebe nichts übrig, als an Modificationen der Hornhautkrümmung zu denken. Indes ist ein besonderer Muskelapparat zur Erreichung dieses Zweckes nicht vorhanden, und Veränderungen ihres Radius sind nur möglich, wenn die Muskeln, welche zur Bewegung des Auges dienen, durch einen Druck auf dieses allgemeine Formveränderungen zu Stande bringen. Hiermit stößt diese Hypothese auf alle die Schwierigkeiten, welche im Vorhergehenden schon geschildert wurden. Young suchte gegen Home durch Beobachtungen zu erweisen, daß eine Veränderung der Hornhautkrümmung beim Nah- und Fernsehen nicht eintrete, aber freilich lassen seine Untersuchungen manche Einwürfe übrig, wie Treviranus mit Recht hervorgehoben <sup>2)</sup>.

Es gereicht daher der Wissenschaft zum großen Vortheil, daß Senff diese Untersuchungen mit scrupulöser Genauigkeit wiederholt hat. Mein gelehrter Freund hat mich in den Stand gesetzt, seine schon im Jahre 1838 gewonnenen Erfahrungen bekannt zu machen. Er benutzte zu den Untersuchungen dieselbe Methode, deren er sich zur Bestimmung der Hornhautkrümmung bedient hatte, und operirte in Gemeinschaft mit dem Anatomen Hueck und dem Astronomen Sabler. Das Auge, an welchem das Fensterbildchen gemessen wurde, adaptirte sich abwechselnd auf eine Entfernung von 4" und 222", das Nähere besagt die Tabelle.

<sup>1)</sup> Ruete, a. a. O. S. 101.

<sup>2)</sup> Biologie VI. S. 512 u. f.



Namen der Person, an deren Auge die Beobachtung angestellt wurde.	Name des Beobachters, welcher die Messung ausführte.	Krümmungshalbmesser der Hornhaut in Par. Linien.		Differenz.
		beim Fernsehen.	beim Nahsehen.	
Prof. Hueck . . .	Prof. Senff . . .	3,601	3,598	+ 0,003
Prof. Senff . . .	Prof. Hueck . . .	3,409	3,458	— 0,049
Prof. Senff . . .	Astronom Sabler .	3,486	3,510	— 0,024
Astronom Sabler .	Prof. Senff . . .	3,392	3,373	+ 0,019
Prof. Hueck . . .	Astronom Sabler .	3,675	3,674	+ 0,001
Stud. Rauch . . .	Prof. Senff . . .	3,421	3,409	+ 0,012
		im Mittel		— 0,006

Das Endresultat, daß der Krümmungshalbmesser der Hornhaut beim Nahsehen um 0,006''' größer ist, als beim Fernsehen, steht also gerade dem entgegen, was vorausgesetzt werden mußte, um die Adaption zu erklären, worauf indeß kein Gewicht zu legen, da der wahrscheinliche Fehler des Endresultates 0,007''' beträgt, woraus sich nun soviel als gewiß ergibt, daß keine Veränderung des Halbmessers über 0,01''' vorkommt. Eine so geringe mögliche Veränderung kann aber bei der Frage nach der Accommodation nicht in Anschlag kommen, da die Accommodation von 5'' auf 222'' nach Senff eine Veränderung um 0,435''' in Anspruch nehmen würde<sup>1)</sup>.

Finden nach dem Vorausgeschickten Formveränderungen des Auges bestimmt nicht Statt, so bleibt kaum etwas anderes übrig, als anzunehmen, daß die Krystalllinse entweder ihre Gestalt oder Lage verändere. Der erste Theil der Hypothese unterliegt großen anatomischen Schwierigkeiten. Die Linse besitzt keine Muskelfasern, ebenso wenig Nerven und Gefäße. Freilich giebt es Thiere, welche dieser Theile auch zu entbehren scheinen, aber in den höhern Thierklassen und beim Menschen scheint das Bewegungsvermögen, namentlich wo es unter dem Einfluß der Willkür steht, wie die Accommodation, ohne jene histologischen Grundlagen kaum denkbar. Daß Zeichen von Contractilität an der Linse nicht wahrgenommen werden können, bemerkte schon Treviranus, indeß hat Hueck wahrscheinlich zu machen gesucht, daß Zusammenziehung des Ciliarkörpers einen Druck auf das im Petit'schen Kanale enthaltene Wasser ausübe, und daß in Folge hiervon die Linse eine seitliche Compression erfahre. Senff fand durch Rechnung, daß eine Compression, welche den Querdurchmesser der Linse um  $\frac{1}{8}$  verkleinere, zur Erklärung des Einrichtungsvermögens ausreiche.

Am meisten Theilnahme hat in neuerer Zeit die Annahme gefunden, daß das Einrichtungsvermögen durch Ortsbewegungen der Linse vermittelt werde. Das Hauptbedenken ist auch hier, daß sich der erforderliche Bewegungsapparat nur mit Hülfe von Hypothesen herbeischaffen läßt. Man suchte denselben in den Ciliarfortsätzen, welche wie das Strahlenband und die Iris organische Muskelfasern enthalten sollten. Wenn übrigens die Accommodation des Auges für die verschiedenen Entfernungen eine Verschiebung der Linse um  $\frac{1}{2}$ ''' oder etwas mehr bedürfte, wie Döber, Moser und Senff (in einer früheren Arbeit) berechneten, so muß es höchst fraglich erscheinen, ob eine verhältniß-

<sup>1)</sup> Nach Döber bedarf die Accommodation zwischen 5'' und der unendlichen Entfernung eine Veränderung des Hornhautradius von 0,720'''.



mäßig so große Bewegung durch einen Apparat, wie der angeführte, hervor gebracht werden könne. Die Linse liegt  $\frac{1}{8}$ ''' hinter der Pupille und würde demnach, bei Accommodation des Auges auf sehr nahe Objecte, die Iris um  $\frac{3}{8}$ ''' nach vorn schieben müssen. Eine weitere Schwierigkeit erwächst aus dem Umstande, daß Wasser nicht comprimierbar ist und daß demnach die Linse nicht vordringen kann, ohne den humor aqueus bei Seite zu drängen. Wohin die wässerige Feuchtigkeit entweiche, und wie der hinter der Linse entstehende freie Raum ausgefüllt werde, sind zwei Fragen, welche beantwortet werden müssen, ehe die Hypothese von der Linsenbewegung als einigermaßen begründet gelten kann.

Niemand hat sich um die Auflösung dieser Zweifel mehr bemüht, als mein vereinigter Freund Hueck. Er trug Bedenken, die Bewegung der Linse von einem Zuge der Ciliarfortsätze abzuleiten, gewiß mit Recht, da diese Muskelfasern entbehren, und vielleicht nicht einmal fest mit der Linsenapfel zusammenhängen. Er nahm vielmehr an, daß Zusammenziehung des Strahlenbundes den flüssigen Inhalt der Zonula ciliaris in einer solchen Weise drücke, daß die Linse in ihrem Querdurchmesser verschmälert, also überhaupt gewölbt und durch den vordringenden Glaskörper nach vorn geschoben werde. Die wässrige Feuchtigkeit aber entweiche in eine Unterabtheilung des Fontana'schen Kanals (Canalis Fontanae anterior), welcher durch seine im Winkel der Iris und Hornhautverbindung gelegene Spaltöffnungen mit der vordern Augenkammer zusammenhänge <sup>1)</sup>.

Leider stehen auch dieser Hypothese manche Bedenken entgegen. Es ist kaum glaublich, daß ein, durch die Zonula ciliaris vermittelter Druck eine Gestaltveränderung der Linse bewirken sollte, auch ist das Ausweichen der wässrigen Feuchtigkeit, wovon das Vordringen der Linse abhängt, nicht recht verständlich. Hueck scheint übersehen zu haben, daß sein vorderer Fontana'scher Kanal (dessen Gegenwart übrigens von Krause bestritten wird) selbst vor der Linse liegt, und im Grunde nur einen Anhang der vordern Augenkammer bildet. Dringt Wasser in diesen Kanal, so dehnt er sich aus, und beschränkt den Raum der eigentlichen Augenkammer genau in demselben Maße, als er selbst an Umfang zunimmt. Mit diesem Mechanismus wird daher für das Entweichen der wässrigen Feuchtigkeit kein Raum gewonnen.

Die Annahme, daß eine Bewegung der Krystalllinse die Einrichtung des Auges vermittele, hat also manches Mißliche, gleichwohl sind die Schwierigkeiten, welche ihr früher entgegenstanden, durch die neuesten Untersuchungen um ein Wesentliches vermindert worden. Da nach Senff's Untersuchungen die brechende Kraft der Krystalllinse beträchtlich größer ist, als man bisher annahm, so reichen kleinere Ortsveränderungen derselben aus, die Accommodation zu Stande zu bringen. Ferner da nach Sturm's theoretischen Deductionen und meinen directen Beobachtungen das Licht nicht in einem absoluten Brennpunkte, sondern in einem mehr oder weniger in die Länge gezogenen Raume die höchste Concentration erfährt, so bedarf es auch aus diesem Grunde einer geringeren Bewegung der Linse, um das bestehende Accommodationsbedürfniß vollständig zu decken. Endlich war eine Hauptschwierigkeit immer die, verständlich zu machen, wie die Linse nach hinten gezogen werden könne. Bestätigen sich nun meine Erfahrungen, daß das ruhende Auge für den Fernpunkt eingerichtet ist,

<sup>1)</sup> Ein genaueres Verständniß dieser Verhältnisse läßt sich mit kurzen Worten und ohne erläuternde Abbildungen nicht geben, daher ich auf das Originalwerk verweisen muß: Die Bewegung der Krystalllinse von Dr. A. Hueck. Leipzig 1841.



so fiele die Nothwendigkeit einer Rückwärtsbewegung, wie schon Hueck bemerkte, ganz weg.

Obgleich der Apparat, durch welchen die Linse bewegt wird, nicht nachweisbar ist, so fehlt es doch nicht an Erfahrungen, welche andeuten, daß sie beim Accommodationsgeschäft eine wesentliche Rolle spiele. Besonders wichtig ist, daß durch die Staaroperation das Accommodationsvermögen entweder ganz aufgehoben oder doch auf ein Minimum beschränkt wird. Zwar finden sich auch Angaben entgegengesetzter Art, aber je unmöglicher es sich auswies, das Nah- und Fernsehen durch andere Bewegungen als die der Linse verständlich zu machen, um so mehr müssen wir uns hüten, solchen abweichenden Berichten vorzeitig Glauben zu schenken. Man hat operirten Blinden Gedrucktes vorgelegt und gefunden, daß sie in verschiedenen Sehweiten deutlich lesen konnten, aber ein derartiger Versuch beweist gar nichts. Ich selbst kann das Wort Handwörterbuch, auf dem Titelblatte dieses Werkes, zwischen 5" und 12" Entfernung bei unverändertem Accommodationszustande des Auges bequem genug erkennen, gleichwohl fühle ich bei einem derartigen Versuche das Mangelhafte eines solchen Sehens auf das bestimmteste.

Nur Versuche nach dem Princip des Scheiner'schen geben über die Gegenwart des Accommodationsvermögens sichere Auskunft <sup>1)</sup>. Wenn durch ein doppeltes Kartenloch eine Nadel in verschiedenen Entfernungen einfach gesehen werden kann, so ist das Vorhandensein dieser Kraft unzweifelhaft, und je größer die Distanz der Punkte ist, zwischen welchen das Object sich einfach darstellt, um so größer muß die Kraft sein, durch welche die Einrichtung des Auges vermittelt wird. Nun beobachtete Home wirklich einen operirten Staarblinden, welcher im Scheiner'schen Versuch einen aufgespannten Faden zwischen  $8\frac{3}{10}$  und  $13\frac{3}{10}$  Zoll Entfernung einfach sehen konnte, und folglich ein ziemlich bedeutendes Einrichtungsvermögen entschieden nachwies. Indes war das Auge, welches zur Beobachtung diente, 4 Jahre früher operirt worden, und da nach neuern Erfahrungen die KrySTALLlinse sich mehr oder weniger vollkommen regeneriren kann, so darf dieser Versuch nicht als entscheidend gelten. Derselbe Einwurf trifft zwei Beobachtungen, welche ich an operirten Staarblinden angestellt und in meinen Beiträgen (S. 175.) mitgetheilt habe. Young, welcher den Scheiner'schen Versuch mit 5 Operirten anstellte, fand, daß die Accommodationskraft gänzlich fehlte. Dieses Resultat stimmt besser zu der bekannten Erfahrung, daß Operirte für verschiedene Entfernungen verschiedener Brillen bedürfen.

Hueck hat auf ein Phänomen aufmerksam gemacht, welches die Bewegung der Linse direct zu beweisen scheint. Eine Person muß in den hellen Himmel sehen, damit die Pupille sich möglichst verengere, und muß abwechselnd ihr Auge für einen sehr fernen und sehr nahen Punkt einrichten. Beobachtet man das Auge einer solchen Person im Profil, so sieht man, daß die Iris sich bei jeder Fixation des näheren Punktes ein wenig nach vorn drängt, was allerdings die Folge einer Bewegung der Linse zu sein scheint, welche die Iris vor sich her schiebt. Ich selbst habe dieses Vordrängen der Iris nur an Hueck's Auge, nicht aber bei anderen Personen wahrnehmen können.

Gegen die Bewegung der KrySTALLlinse bei Accommodation des Auges habe ich in meinen Beiträgen Bedenken erhoben, welche einer flüchtigen Erwähnung bedürfen. Ich behauptete nämlich, mit Verschiebung der Linse müsse

<sup>1)</sup> Nach diesem Principe ist Young's Ophthalmometer construirt, ein Instrument, welches in dem Apparate wissenschaftlicher Augenärzte nie fehlen sollte.



nothwendig der Kreuzungspunkt der Richtungslinien verschoben werden und suchte durch Beobachtungen zu beweisen, daß eine Ortsveränderung dieses Punktes nie eintrete. Der erste Theil der Behauptung ist richtig, wie auch Physiker vom Fach anerkannten, dagegen waren meine Beweise, daß der Kreuzungspunkt der Richtungslinien ein unveränderlicher sei, nicht genügend. Ich hatte bemerkt, daß Gegenstände, welche zur Seite der Sehaxe liegen und sich decken, auch bei Veränderungen der Accommodation gedeckt bleiben. Dies beweist, wie ich noch heute annehme, daß Ortsveränderungen der Linse, von  $\frac{1}{2}''$  und mehr, nicht vorkommen; wenn aber, wie wahrscheinlich, weit geringere Bewegungen der Linse zur Vermittlung der Adaption des Auges ausreichen, so kann die Paralaxe, welche in Folge derselben eintritt, so gering sein, daß sie der Beobachtung nicht zugänglich ist.

Wir dürfen das vorliegende Kapitel nicht verlassen, ohne die Gründe derer zu prüfen, welche die Accommodation von der Bewegung der Pupille ableiteten. Es ist thatsächlich, daß die Weite derselben mit der Entfernung der Gegenstände in einer gewissen Beziehung stehe, nämlich bei gleichbleibendem Lichteinfluß verengert sich die Pupille um so mehr, je näher die Gegenstände liegen, auf welche wir die Augen richten. Hiernach könnte es scheinen, daß das Deutlichsehen naher Objecte eben in der Verengerung der Pupille, das Deutlichsehen ferner Gegenstände aber in deren Erweiterung ihren Grund habe. Eine Bestätigung dieser Ansicht könnte ferner darin gesucht werden, daß Erweiterung der Pupille durch Markotismus, nach den Angaben mehrerer Beobachter mit Fernsichtigkeit verbunden ist <sup>1)</sup>.

Daß die Größe der Pupille für die Deutlichkeit der Bilder nicht gleichgültig sei, ist leicht nachzuweisen. Befindet sich ein Gegenstand in unpassender Entfernung, gleichviel ob zu fern oder zu nah, so wird die Lichtzerstreuung durch Erweiterung der Pupille vermehrt, durch Verengerung derselben vermindert. Der Grund liegt darin, daß die Zerstreuungskreise als Kegelschnitte betrachtet werden können, deren Größe durch den Umfang der Regelbasis (als solche dient die Pupille) natürlich mit bedingt wird. Hiermit erklärt sich das Blinzeln der Myopen, welche durch Zusammenkneifen der Augenlider die Breite der convergirenden Lichtkegel und folglich auch der Zerstreuungskreise zu beschränken wissen. Indem aber die Pupille des Myopen sich beim Betrachten entfernter Gegenstände erweitert, thut sie das Gegentheil von dem, was der Zweck erfordert, und schon dies deutet an, daß sie nicht als das wesentliche Organ der Accommodation betrachtet werden dürfe.

Zu demselben Resultate führen noch andere Beobachtungen. Diente Erweiterung der Pupille dem Fernsehen, so müßten wir bei bedecktem Himmel fernsichtiger sein, als bei hellem, was nicht der Fall ist. Durch ein kleines Kartenloch sehen nicht nur Presbyoper nahe, sondern auch Myopen ferne Gegenstände deutlicher als gewöhnlich. — Im Scheiner'schen Versuch sieht man durch zwei kleine Löcher, deren Distanz unveränderlich ist, eine Nadel in verschiedenen Entfernungen einfach. —

Hiermit ist zunächst die Ansicht derer vollständig widerlegt, welche die Accommodation mit der Weite der Pupille als größeren oder kleineren Eingang für das Licht in Verbindung brachten, wie Mile und Pouillet, dagegen könnte noch fraglich erscheinen, ob die Iris, als Bewegungsorgan, vielleicht die Bestimmung habe, die inneren Veränderungen des Sehapparates zu vermitteln,

<sup>1)</sup> Diese Angabe ist streng genommen unrichtig, nicht der Fernpunkt, sondern nur der Grenzpunkt rückt weiter vom Auge.



welche zur Accommodation nöthig sind. Nach Burow soll jede Contraction der Pupille, gleichviel ob durch die Augenstellung hervorgerufen, oder durch Lichteinfluß zufällig entstanden, die Refraction vermehren, und jede Dilatation derselben soll sie vermindern. Ich habe diese von vorn herein äußerst unwahrscheinliche Angabe weder bei mir noch andern bestätigt gefunden <sup>1)</sup>. Ich betrachtete bei geschlossenem linken Auge mit dem rechten eine Nadel durch zwei Kartenlöcher, und sah sie bei 6" Entfernung einfach. Dann öffnete ich das linke Auge unter Umständen, wo es von einem sehr scharfen Lichte getroffen wurde. Die Pupillen beider Augen erfuhren eine bedeutende Verengerung, aber die Nadel blieb einfach und konnte, ohne in Doppelbilder zu zerfallen, dem Auge nicht genähert werden. Ebenso fixirte ich eine Nadel, die sich im Fernpunkte befand, diesmal ohne das freiliegende Auge zu verschließen, und bei intensivem Lichte. Die Entfernung, in welcher das Object einfach erschien, betrug dann 12 Zoll. Schloß ich nun das zweite Auge, so erfuhr die hinter der Karte befindliche Pupille eine ansehnliche Erweiterung, aber es trat wiederum kein Doppelbild auf und eben so wenig durfte die Nadel an einem ferneren Punkte aufgesteckt werden. — Ich habe bereits in meinen Beiträgen eine Methode angegeben, die Größe der Zerstreuungskreise zu messen, dieselbe kann in der vorliegenden Frage mit Vortheil benutzt werden. Man fixirt nämlich durch den Scheiner'schen Apparat einen mit Theilungsstrichen markirten Hintergrund in passender Gesichtswerte, während eine feine Nadel zwischen diesem Maßstabe und dem Auge befestigt ist. Unter diesen Umständen wird die Nadel doppelt gesehen und man kann an den Theilungsstrichen des Hintergrundes die Distanz des Doppelbildes messen. Wird nun während des Versuchs eine auffallende Veränderung der Beleuchtung herbeigeführt, so verändert sich die Weite der Pupille, nicht aber die Distanz der Doppelbilder, woraus sich ergibt, daß der Accommodationszustand des Auges durch die Pupillenbewegung keine Veränderung erfährt.

Wir sind zu dem unangenehmen Resultate gekommen, daß alle Hypothesen über die Einrichtung des Auges unzulänglich sind, ja daß den meisten erhebliche Bedenken entgegen stehen. Um so nothwendiger ist es, auf alle Nebenumstände zu achten, welche den Accommodationsproceß begleiten, da nur aus Beachtung dieser sich Angriffspunkte für neue Untersuchungen ergeben können.

Eines der interessantesten Verhältnisse, welche hierher gehören, ist der schon von Porterfield erwiesene Zusammenhang zwischen Accommodation und Augenstellung. In der Regel sehen wir Gegenstände nur deutlich, wenn sie im Kreuzungspunkte der Augenaxen liegen, und wiederum fehlt die Deutlichkeit in der Regel nicht, wenn das Object im Kreuzungspunkte dieser Axen, und, wie sich von selbst versteht, innerhalb der Grenzen der Accommodation liegt. Wenn man eine Nadel in einer für das Sehvermögen passenden Entfernung in der Weise betrachtet, daß sie einfach erscheint (was eben beweist, daß sie im Kreuzungspunkte der Sehexen liegt), so sieht man sie deutlich, dagegen erscheint sie bei fehlerhafter Fixation, welche sich durch Auftreten von Doppelbildern erkenntlich macht, unfehlbar undeutlich, und zwar selbst dem Auge, welches seinerseits richtig gestellt ist und das Nadelbild auf der empfindlichsten

<sup>1)</sup> Die Angabe ist a priori unwahrscheinlich, weil sie der Natur Zweckwidriges anmuthet. Wenn es dunkel wird, erweitert sich die Pupille, aber was sollte hier eine Accommodation für entlegene Objecte, welche wir wegen Lichtmangel ja doch nicht erkennen würden. Ein Buch, in welchem wir lesen, rücken wir bei eintretender Dunkelheit dem Auge näher, sehr zweckmäßig, um Licht zu gewinnen, das Auge dagegen soll sich gleichzeitig für ein Entfernteres accommodiren, wie zweckwidrig! —



Stelle der Netzhaut aufnimmt <sup>1)</sup>. Sehr überzeugend kann man den Zusammenhang zwischen Adaption und Augenstellung mit Hülfe eines weißen Fadens nachweisen. Spannt man einen solchen über einem etwas dunkeln Grunde so auf, daß er zum Kopfe des Beobachters ungefähr dieselbe Lage hat, wie ein Blasrohr während des Gebrauchs, so sieht man zwei sich kreuzende Fäden, indem der eine, welcher von beiden Augen betrachtet wird, überall doppelt erscheint, mit Ausnahme des einen Punktes, in welchem die Seharen sich kreuzen. Von den zwei Fadenbildern erscheint jedes in der Nähe des Auges sehr verbreitet und nebelhaft, wird dann je weiter abwärts immer dünner und deutlicher, bis zu einem gewissen Punkte, wo der Faden am schmalsten und hellsten erscheint, noch weiter nach abwärts nimmt dann eine gewisse Verbreiterung und Undeutlichkeit in progressivem Maasse wieder zu. Der Grund dieser Erscheinung liegt in den Accommodationsverhältnissen. Von den in verschiedener Entfernung gelegenen Fadenpunkten kann nur einer ohne Zerstreuungskreise gesehen werden, dies ist der Punkt jedes Fadenbildes, welcher am dünnsten und klarsten erscheint. Nun kreuzen sich aber die Fadenbilder gerade in diesem dünnsten Punkte, ein Beweis, daß die Fläche des accommodirten Sehens in den Kreuzungspunkt der Seharen falle. Verändert man bei diesem Experimente die Augenstellung, so verschiebt sich der Kreuzungspunkt des Doppelbildes, aber gleichzeitig und an jenen gebunden auch die Stelle des deutlichsten Sehens.

Für die Lehre vom Einrichtungsvermögen ist es von Wichtigkeit zu wissen, ob jene Verbindungen zwischen Arenstellung und Accommodation eine durch Uebung erworbene, oder durch organische Einrichtungen mit Nothwendigkeit geforderte ist. Wäre letzteres der Fall, so würde eine im Vorhergehenden als unhaltbar geschilderte Hypothese, die daß die Einrichtung des Auges von den geraden Augenmuskeln abhinge, einen gewissen Vorschub erhalten.

Ich habe durch zahlreiche Beobachtungen erwiesen, daß Accommodation und Augenstellung nur durch Uebung associirt, nicht durch Structurverhältnisse verketten sind. Wenn man eine Nadel mit dem einen Auge fixirt, so daß sie vollkommen deutlich erscheint, während das zweite Auge mit der hohlen Hand verdeckt ist, und wenn man dann durch Zurückziehen der Hand das zweite Auge frei macht, so erscheint die Nadel allemal im Doppelbilde. Fixirt man, wie in einem frühern Versuche, einen ausgespannten Faden mit einem Auge und öffnet dann das zweite, so liegt der Kreuzungspunkt des doppelten Fadenbildes immer in größerer Ferne vom Auge, als die Accommodationsfläche, deren Lage durch den dünnsten Punkt des fixirten Fadens bezeichnet wird. Noch deutlicher werden diese Verhältnisse mit Hülfe des Scheiner'schen Experimentes. Betrachtet man, während das eine Auge geschlossen ist, eine Nadel durch 2 Kartentlöcher, und sieht sie einfach, so erscheint bei Deffnung des andern, anfangs verschlossenen, Auges die Nadel im Doppelbilde der falschen Augenstellung.

Es kommen also Fälle vor, wo das deutlichste Bild und der Kreuzungspunkt der Seharen nicht in eine Fläche fallen. Hieraus ergiebt sich nicht nur, daß es zwei verschiedene Bewegungsapparate zur Regulirung der Augenstellung und der Accommodation geben müsse, sondern auch, daß beide Apparate einer gesonderten Thätigkeit fähig sind. Beim normalen Sehen associiren sich beide Apparate zur Erreichung eines gemeinsamen Zweckes, welcher darauf gerichtet ist, eine so deutliche Gesichtserscheinung als möglich hervorzubringen. Betrachten wir einen Gegenstand mit beiden Augen, wie im gewöhnlichen Leben immer,

<sup>1)</sup> Die nachfolgenden Betrachtungen können nur denen verständlich sein, welche mit der Lehre vom Einfach- und Doppeltsehen vertraut sind.



so ist vollkommene Deutlichkeit nur erreichbar, wenn der Kreuzungspunkt der Seharen und die Accommodationsfläche zusammenfallen. Das Zusammenbringen beider wird Sache der Gewöhnung, von der wir nicht füglich ablassen können, so lange die Verhältnisse fortbestehen, unter welchen sie entstanden ist. Sehen wir aber nur mit einem Auge, oder wohl gar durch Kartenlöcher, so ändern sich die Bedingungen und jede der beiden Thätigkeiten geht ihren Gang, ohne die andre ins Schlepptau zu nehmen.

Daß andere Apparate zur Bewegung des Auges und andere zur Vermittlung der Accommodationsveränderungen vorhanden sind, beweisen nun auch die oben mitgetheilten Versuche über die Schnelligkeit der Augenbewegungen. Es hat sich gefunden, daß die Dauer der Augenbewegungen bei gleicher Entfernung der zu fixirenden Objecte, der Größe der Bewegung proportional ist, daß dagegen dieselben Bewegungen der Augenaxe eine unverhältnißmäßig längere Zeit in Anspruch nehmen, wenn die zu fixirenden Objecte in verschiedener Entfernung liegen. So ergiebt sich aus den Versuchen der 2ten und 5ten Tabelle (III. C.), daß meine Augen zu einer Winkelbewegung von  $10^\circ$  nur 30 Tertian brauchen, wenn die Objecte, zwischen welchen das Auge hin und herblickt, in gleicher Entfernung liegen, während eine Bewegung gleicher Größe 47 Tertian bedarf, wenn das eine Object 5 Zoll, das andere  $20''$  vom Auge liegt, ja es bedarf sogar eine Winkelbewegung von nur  $1\frac{1}{2}^\circ$  38 Tertian Zeit, wenn der eine Fixationspunkt  $20''$ , der zweite  $40''$  vom Auge entfernt liegt. Gleich große Bewegungen der Augenaren sind bei ungleicher Entfernung der Gesichtsobjecte von verschiedener Dauer, und die Dauer wächst, wie die Differenz der Entfernungen der Objecte vom Auge. Es zeigt sich also schon hier eine sehr merkwürdige Verschiedenheit in der Geschwindigkeit der äußern und innern Bewegungen, und doch ist wahrscheinlich die Differenz noch größer, als sie nach Maafgabe jener Beobachtungen zu sein scheint. Blickt man nämlich, wie in den von mir angestellten Experimenten geschah, mit beiden Augen abwechselnd auf eine nahe und eine ferne Nadel, so kann man sich zwar darüber nicht täuschen, ob man das Object in den Kreuzungspunkt der Seharen genommen, denn hierüber giebt das Erscheinen und Verschwinden der Doppelbilder genügenden Aufschluß, wohl aber kann man sich darüber täuschen, ob mit dem Momente der Fixation (also beim Verschmelzen des doppelten Bildes in ein einziges) das deutlichste Sehen bereits erlangt sei. Der Scheiner'sche Versuch giebt auch hier Aufschluß. Da beim Sehen durch mehrere Kartenlöcher das Object in eben so viele Bilder zerfällt, wenn die Accommodation nicht vollständig zu Stande kommt, so kann man mit Benutzung dieses Hülfsmittels über die Dauer der Accommodationsbewegungen mit Sicherheit urtheilen. Wenn ich durch ein Paar Kartenlöcher von 2 Millimeter Distanz abwechselnd 2 Stecknadeln fixirte, deren eine  $6''$ , die andere  $11''$  vom Auge entfernt war, so konnte ich in Zeit von  $\frac{1}{2}$  Minute nur 20 Accommodationsbewegungen ausführen, was die Dauer von 90 Tertian für eine giebt.

Nach diesen Erfahrungen ist einleuchtend, daß die innern Bewegungen des Auges viel langsamer vor sich gehen als die äußern, und daß wo innere Bewegungen nöthig sind, sich jene nach diesen bequemen und ihre angeborene Schnelligkeit beschränken müssen. Wahrscheinlich ist diese Differenz der Schnelligkeit wenigstens theilweise durch die Natur der contractilen Gebilde begründet. Wir gewinnen einen Grund mehr zu leugnen, daß die willkürlichen Bewegungen der Augenmuskeln die Ursachen der Accommodation abgeben, und haben Anlaß zu vermuthen, daß ein Gebilde von langsamer Contractilität den Accommodationsveränderungen vorstehe.



Wir kennen das contractile Gebilde nicht, von welchem die Accommodationsbewegungen ausgehen, wissen aber, daß im Innern des Auges keine Fasern vorkommen, welche mit denen der willkürlichen Muskeln anatomisch vergleichbar wären. Unter diesen Umständen ist doppelt merkwürdig, daß sich die Accommodation auch ohne Kreuzung der Augenaren verwirklichen läßt, denn dies scheint anzudeuten, daß die innern Bewegungen unter dem directen Einfluß des Willens stehen, und nicht wie die der Pupille nur willkürlichen Muskeln associirt sind. Joh. Müller und Plateau versichern sogar, kleine Accommodationsveränderungen ohne irgend eine Bewegung des Auges willkürlich herbeiführen zu können <sup>1)</sup>. Hiermit dürfte denn zusammenhängen, daß zwar der Vorgang der Accommodation, nicht aber die Thätigkeit der Iris in die Bewegungen der Augenstellung hemmend eingreift. Ist nun die Accommodation allem Anscheine nach ein direct willkürlicher Act, so kann davon nicht die Rede sein, daß Turgesenz des Ciliarkörpers ihn einleite, obschon meines Erachtens diese Hypothese schon durch die Schnelligkeit der Accommodationsveränderungen widerlegt wird.

#### IV. Von den unvermittelten Gesichtsempfindungen.

Alle Schriftsteller, welche sich ernsthaft mit der Lehre vom Sehen beschäftigten, haben anerkannt, daß die Erkenntnisse, welche wir dem Gesichtssinne verdanken, doppelter Art sind. Ein Theil unsrer optischen Erfahrungen geht nicht nur vom reinen Empfinden aus, sondern bedarf absolut nichts als ein Sehorgan, hierher gehört die Wahrnehmung der Farben, andere können nur unter Mitwirkung anderweitiger Functionen und Organe gewonnen werden, so z. B. die Wahrnehmung der Entfernung eines Gesichtsobjectes. Streittig ist dagegen, welche Proceßse dem reinen Empfinden und welche dem vermittelten angehören. Die Physiologie des Auges kann sich keine wichtigere Aufgabe stellen, als die hier stattfindenden Zweifel aufzuklären.

##### A. Licht-, Schatten- und Farbenempfindungen.

a. Beweis, daß diese Empfindungen auch ohne objectiven Grund auftreten können.

Drückt man das geschlossene Auge leise mit der Fingerspitze, so zeigt sich im dunkeln Gesichtsfelde eine leuchtende Scheibe, oder ein lichter Ring auf der dem Drucke entgegengesetzten Seite. Dreht man das geschlossene Auge rasch nach außen, so sieht man an der Außenseite des Schattensfeldes eine Lichtscheibe, welche der Eintrittsstelle des Sehnerven entspricht. Purkinje sah, wenn Sonnenlicht durch die geschlossenen Augenlider fiel und dem ganzen Gesichtsfelde eine rothe Farbe ertheilte, den Mittelraum jener Scheibe in dunkelblauer Färbung <sup>2)</sup>. Derselbe bemerkte, daß wenn man die Pole einer galvanischen Säule mit der Zunge und mit der Stirn in Verbindung bringt, schattige Figuren und farbige Flecken auftreten, deren Gestalt und Farbe durch die Verwechselung der Pole eine Veränderung erlitt. Aehnliche Erfahrungen machte Ruete.

Wenn man eine weiße Papierscheibe auf schwarzem Grunde im Sonnenlicht fixirt, so bleibt dieselbe nicht rein weiß, sondern nimmt farbige Tinten an. Bei Fechner treten die farbigen Nüancen in folgender Ordnung auf: Gelb, Blaugrau oder Blau, ohne eine Uebergangsstufe durch Grün, schließlich Roth-

<sup>1)</sup> Joh. Müller, Handbuch der Physiologie. II. 337.

<sup>2)</sup> Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne. Prag, 1823.



violet oder Roth. Bei mir ist die Reihenfolge etwas anders: Gelb, Grüngrau, Blaugrau, Blau, aber nie Violet und Roth. Bei Betrachtung bunter Papierscheiben auf schwarzem Grunde bemerke ich kein Abklingen von Farben.

Wenn man die Augen schließt, sieht man ein Schattenfeld, indeß ist dieser Schatten kaum je absolut schwarz, sondern man sieht in der Finsterniß eine Art Lichtstaub, wie zuerst Purkinje und Fechner bemerkten und wie ich bestätigt finde. Dieser Lichtstaub ist nach individuellen Verhältnissen, wenn ich so sagen darf, in verschiedener Menge vorhanden. Fechner befand sich nach seinen anstrengenden Untersuchungen über die physiologischen Farben jahrelang in einem Zustande, wo er die Augen nicht schließen konnte, ohne ein Lichtmeer zu erblicken. Wenn ich die Augen schließe und mit der Hand bedecke, so tauchen im Gesichtsfelde verschiedene Farben auf, aber zu verschiedenen Zeiten nicht dieselben. Früh, bald nach dem Erwachen, ergaben sich unter den angegebenen Umständen folgende Erscheinungen: dunkles Schattenfeld mit wenigem Lichtstaube, welcher von rechts nach links strömt; Zunahme des Lichtstaubes; Auftreten eines röthlichen Centrums im Schattenfelde; das rothe Centrum nimmt eine rautenförmige Gestalt an und verbreitet sich allmählig, aber nur matt und schmutzig über das ganze Gesichtsfeld; in der Mitte des röthlichen Gesichtsfeldes tritt ein grüner Fleck auf, welcher sich immer mehr nach außen ausbreitet; in der Mitte des grünlichen Gesichtsfeldes entsteht ein rother Punkt, welcher immer größer wird; das Roth ist schmutzig und punktiert; die Punkte treten in Bewegung und zeigen eine Strömung von links nach rechts. — Als ich aber einen Spaziergang im Sonnenschein gemacht hatte und den Versuch wiederholte, ergaben sich andre Resultate. Statt Roth und Grün zeigten sich Violet und Grün in verschiedenen Wechsell.

Da Licht- und Farbenempfindung ohne alle objective Grundlage nur als Folge innerer Thätigkeiten auftreten können, so ist sehr möglich, daß dieselben elementaren Farben in verschiedenen Individuen ganz verschiedene Empfindungen hervorrufen, wenigstens beweist die Uebereinstimmung der Menschen bei Benennung farbiger Stoffe aus leicht begreiflichen Gründen nicht das Gegentheil.

#### b. Veränderung von Licht- und Farbenempfindungen in Folge von Ermüdung des Auges.

Fixirt man bei heller Beleuchtung eine weiße Scheibe auf schwarzem Grunde und verwendet nach einiger Zeit die Augen auf einen grauen Hintergrund, so sieht man eine dunkle Scheibe, in Mitten eines hellen Feldes. Hat man umgekehrt eine schwarze Scheibe auf weißem Grunde fixirt, und wendet den Blick einer grauen Fläche zu, so meint man eine weiße Scheibe in einem dunkeln Felde wahrzunehmen. Beide Fälle sind verständlich, wenn man annimmt, daß das Auge durch Fixation des Weißen mehr ermüdet, als durch Fixation des Schwarzen, denn dann müssen die Partien der Netzhaut, welche Weiß gesehen, von dem grauen Grunde weniger afficirt werden, als die, welche Schwarz gesehen. — Wenn man das Fensterkreuz vor hellem Himmel fixirt und dann die Augen schließt, so sieht man nach einiger Zeit das Kreuz dunkel und die Scheiben hell, später aber kehrt sich das Verhältniß um, und man erblickt ein helles Kreuz und dunkle Scheiben. Dies scheint daher zu rühren, daß die vom hellen Lichte erregten Netzhautstellen noch einige Zeit dem empfangenen Impulse folgen, dann aber bei Mangel äußern Reizes und in Folge von Ermüdung in's Dunkelsehen verfallen, während umgekehrt die Stellen der Retina, welche durch das Fensterkreuz beschattet wurden und ausruhten,



nun inneres Licht erzeugen, welches im Gegensatz zu den schwarz gewordenen Scheiben noch lebhafter empfunden wird.

Betrachtet man eine bunte Papierscheibe auf schwarzem Grunde im Sonnenlichte, so wird sie von einem graulichen Scheine überzogen und verliert ihre eigenthümliche Färbung immer mehr. Richtet man nun die Augen auf einen Hintergrund von der Farbe der Scheibe, so erscheint der Hintergrund intensiv und leuchtend gefärbt, die Scheibe verschmutzt und dunkel.

#### c. Auftreten von Complementärfarben.

Fixirt man eine farbige Scheibe und richtet nach einiger Zeit die Augen auf einen weißen Hintergrund, so erblickt man die Scheibe in ihrer Complementärfarbe. — Complementärfarben sind aber bekanntlich solche, die sich zu weißem Lichte ergänzen, als: Roth und Grün, Gelb und Violett, Blau und Orange, so wie umgekehrt Grün und Roth etc. — Schließt man die Augen, in vorstehendem Versuche, so sieht man das Nachbild der Scheibe bisweilen eine Zeit lang in der ursprünglichen Farbe, dann in der complementären.

Hierher gehören auch die farbigen Schatten. Wenn ein Gegenstand gleichzeitig durch weißes und durch farbiges Licht erleuchtet wird, in der Weise, daß zwei Schatten entstehen, so erscheinen dieselben in complementärer Färbung. *Je chner* hat hier auf folgende bemerkenswerthe Umstände aufmerksam gemacht: 1) Wenn das weiße Licht, welches den einen Schatten beleuchtet, nicht mächtiger wirkt als das farbiges, welches den andern zugleich beleuchtet und färbt, so ist die subjective Complementärfarbe des ersten Schattens um nichts schwächer, als die objective des letzteren. 2) Der durch subjective Gründe gesetzte Complementärschatten tritt plötzlich und zwar in demselben Momente auf, wo dem andern Schatten eine objective Färbung gegeben wird. 3) Selbst wenn die Schatten sehr groß sind, erscheint die complementäre Färbung über deren ganzer Ausbreitung, und nicht etwa bloß an demjenigen Rande des subjectiv gefärbten, welcher dem durch farbiges Licht beleuchteten zunächst liegt. 4) Hat man den subjectiv gefärbten Schatten einmal in Augenschein genommen, so erscheint er in unveränderter Färbung, auch wenn man ihn durch eine Röhre abschließend beobachtet. 5) Er behält sogar bei dieser Art der Betrachtung die subjective Complementärfarbe, wenn man ihn durch die Röhre ohne Unterbrechung fixirt, während ein Gehülfe dem ursprünglich benutzten farbigen Lichte ein anderes substituirt.

Zu den Complementärfarben gehören auch die farbigen Säume, welche wahrgenommen werden, wenn man einen farbigen Papierstreifen oder ein buntes Band auf weißem Grunde betrachtet. Allein auf Mißverständniß beruht die Annahme, daß hier die complementäre Reaction sich auf die Stellen der Hauth beschränke, welche unmittelbar neben dem farbigen Bildchen liegen. Nach den oben angeführten Erfahrungen *Je chner's* (Nr. 3) müßte statt eines farbigen Saumes eine complementäre Färbung des ganzen weißen Grundes wahrgenommen werden, wenn der Grund überhaupt eine wahrnehmbare Farbenveränderung erführe, dies ist aber nicht der Fall. Vielmehr veranlaßt das Bild des farbigen Streifens die Stelle der Hauth, auf welcher es aufliegt, zu complementärer Reaction, und die Farbensäume sind nur Folgen kleiner Augenbewegungen. Dies wird dadurch bewiesen, daß der Farbensaum immer nur auf einer Seite des farbigen Streifens, je nach Bewegung des Auges bald auf der einen, bald auf der andern auftritt, und daß bei gehöriger Fixation eines bestimmten Punktes im farbigen Streifen, die complementären Säume gar nicht auftreten, oder, wenn sie schon aufgetreten waren, wieder verschwinden.



## d. Abklingen der Farben.

Wird das Auge auf einen scharf beleuchteten weißen Gegenstand gerichtet und dann geschlossen, so sieht man, wenn der Eindruck lebhaft genug war, auch dann noch das weiße Object, nach einiger Zeit aber nimmt es eine gewisse Farbe an, die ihrerseits wiederum verschwindet und einer andern Platz macht. So verläuft die Erscheinung durch verschiedene Phasen von Farbenempfindungen, wobei zu bemerken, daß jede spätere Phase länger dauert, als die ihr vorhergehende, und daß endlich das Auge in der Empfindung des Schwarzen zur Ruhe kommt. Dies dürfte die einzige Gesetzmäßigkeit im Abklingen der Farben sein, während die Reihenfolge derselben im Verlaufe der Zeit bei verschiedenen Menschen verschieden ausfällt. Szokalski sieht, wenn er eine weiße Scheibe auf schwarzem Grunde im Sonnenlichte fixirt und dann die Augen schließt, die Farbenphänomene in folgender Ordnung: Weiß, Orange, Roth, Violett, Schwarz, und hielt sich für berechtigt, die von Göthe bemerkte etwas andere Reihenfolge nach diesen Erfahrungen zu berichtigen. — Fechner sieht unter gleichen Umständen: Weiß, Blau, Grün, Roth und nochmals Blau, ich selbst endlich empfinde das Abklingen der Farben in folgender Reihe: Grün, Orange, Roth, Blau, Schwarz. Auch Fechner hat gegenwärtig die Ueberzeugung, daß die Reihenfolge im Abklingen der Farben durch Verhältnisse des individuellen Organismus modificirt werde.

Schon oben wurde bemerkt, daß ein Abklingen der Farben nicht nur bei verschlossenen Augen und also bei Abwesenheit eines äußern Reizes bemerkt werde, sondern auch dann, wenn ein weißes Object längere Zeit im Sonnenlichte betrachtet wird.

## e. Zerstreute theoretische Bemerkungen.

Was den Farben objectiv zu Grunde zu liegen scheint, sind Oscillationen des Aethers. Die Schnelligkeit derselben wächst in derselben Ordnung, als die Farben im Spectrum neben einander liegen und ist im Roth am geringsten, im Violett dagegen mit 727 Billionen Schwingungen für die Sekunde am schnellsten. Ob den Farbenempfindungen entsprechende Schwingungen in den Nerven zu Grunde liegen, ist unbekannt, ich finde nicht, daß die Annahme correspondirender Oscillationen im Aether und im Auge die specifischen Farbenempfindungen irgendwie aufkläre.

Szokalski erklärt die Differenz der Farbenempfindungen durch eine graduell verschiedene Thätigkeit des Sehnerven, und ordnet die Empfindungen ihrer physiologischen Energie nach folgendermaßen: Weiß, Gelb, Roth, Blau, Schwarz <sup>1)</sup>. Ich bekenne, daß ich den Sinn dieser Anordnung nicht verstehe. Dieselben Farben können unter Umständen eine verschiedene Energie des Sehorganes in Anspruch nehmen, und wiederum verschiedene Farben eine gleiche. Weiß soll der Gesamtwirkung des Auges entsprechen, jede Farbe dagegen nur einem Bruchtheile derselben, und Blau einem kleineren Bruchtheile als Gelb u. s. w. Hieraus soll folgen, daß die Functionen des Auges, welche uns die eigentlichen Farben wahrnehmen lassen, ihre Intensität möge so stark sein als sie immer wolle, niemals der, die Empfindung des Weißen verursachenden Function gleichen können. Wie aber, wenn die Stärke der Empfindung von der Elongationsweite der Schwingungen abhänge, wie beim Schalle nachweislich, und wenn das Blau einmal mit größeren Schwingungen oscillirte, als das Weiße? — Der einzige Umstand, welchen Szokalski zur Rechtfertigung

<sup>1)</sup> Ueber die Empfindungen der Farben von B. Szokalski. Gießen, 1842.



tigung seiner Hypothese anführen könnte, dürfte der sein, daß nach Betrachtung eines weißen Objectes im Sonnenlichte und nach Verschließung der Augen die Farben annäherungsweise in der von ihm beliebten Ordnung abklagen und endlich sich im Schwarz des ruhenden Auges verloren, allein wir haben gesehen, daß bei verschiedenen Personen die Farben in verschiedenen Folgen abklagen<sup>1)</sup>.

Zu wiederholten Malen ist die Vermuthung ausgesprochen worden, daß die verschiedenen Farbenempfindungen durch die Function specifischer Fasern vermittelt würden, eine Hypothese, welche die Lehre von der specifischen Reizbarkeit auf die Spitze stellt und mehr Schwierigkeiten schafft als beseitigt. Am meisten geneigt war man anzunehmen, es beständen 3 specifische Faserarten, für die Empfindung des Roth, Gelb und Blau, und alle Farbennüancen und Mischungen entstünden durch combinirte Wirkungen dieser. Zunächst liegt schon das Willkürliche einer solchen Annahme am Tage, denn jeder Farbenton hätte die gleiche Berechtigung an specifische Fasern, wenn einmal wahr wäre, daß qualitativ verschiedene Empfindungen von differenten Organen ausgehen müßten. Wichtigere Bedenken sind folgende: Die Empfindung des Weißen kann nach jener Theorie nur aus der combinirten Wirkung dreier Netzhautelemente hervorgehen, was wird nun, wenn weißes Licht nur auf eine Faser auftrifft? Dieser Fall kommt vor, da die kleinsten wahrnehmbaren Netzhautbilder kleiner als die Netzhautelemente sind (siehe unten). Bedürfte die Empfindung des Weißen des Zusammenwirkens dreier Netzhautelemente, während Roth, Gelb und Blau schon durch die Thätigkeit einer einzigen Faser producirt werden könnten, so müßte ein weißer Punkt, welcher seiner Kleinheit wegen dem Auge entgeht, dreimal größer sein als unter denselben Umständen ein farbiger. Noch eine Schwierigkeit ist folgende: In einem spätern Abschnitte werde ich beweisen, daß die Größenwahrnehmungen des Sehorganes an die Anzahl der distinct empfindenden Nervenlemente gebunden ist, welche im Netzhautbilde zur Erregung kommen. Nun würde ein weißes Object alle Fasern, ein farbiges nur die Fasern der respectiven Farbe erregen, folglich müßte eine weiße und eine farbige Linie von gleicher Länge sich der Größe nach unterscheiden, nämlich die weiße müßte größer scheinen.

Das Auftreten der Complementärfarben wird von Einigen in einer Weise erklärt, welche sich an eine wichtige physikalische Thatsache anschließt. Wenn man das weiße Licht durch ein Prisma zerlegt und die zerlegten Farben, mit Ausnahme einer, durch ein zweites Prisma wieder vereinigt, so erhält man in dem gesammelten Lichte das Complement der einen weggenommenen Farbe, also beispielsweise nach Elimination der rothen Strahlen Grün. Mit Bezug hierauf wird angenommen, durch anhaltende Betrachtung einer Farbe werde das Auge gegen dieselbe abgestumpft, es bleiben also vom weißen Lichte alle Farben, weniger die dem Auge nicht mehr erkennbaren, übrig, und so müßte der gesammte Farbenrest als Complementärfarbe auftreten. Unleugbar erklärt diese Theorie die complementären Nachbilder, welche entstehen, wenn man einen farbigen Gegenstand betrachtet und dann die Augen auf einen weißen Grund richtet. Geleugnet wurde dagegen mehrfach, daß diese Erklärung auch auf die Fälle passe, wo complementäre Nachbilder im verschlossenen Auge auftreten. Man meinte, daß hier kein Rest von Licht übrig bleibe, der die complementäre

<sup>1)</sup> Da das Schriftchen von Szokalski eine ziemliche Verbreitung erlangt hat, so ist vielleicht nicht überflüssig, zu bemerken, daß es wegen Unbekanntschaft des Verfassers mit den wichtigsten Arbeiten Fechner's vieles Irrige enthält.



Farbe erklären könne. Diesem Einwurf liegt das Mißverständniß zu Grunde, als ob in irgend einem Falle die Ergänzungsfarbe das Product des objectiven Lichtes sei. Da das Sehorgan Licht und Farben in sich erzeugt, so handelt es sich bei Erklärung jenes Versuches, so wenig als bei dem früher erwähnten mit dem doppelten Prisma, um einen Rest objectiven Lichtes, sondern um einen Rest von Sehtätigkeit, welcher Rest die Empfindung einer Farbe bedingt, während die ungeschmälerte Thätigkeit die Empfindung des Weißen veranlaßt.

Ich bekenne, daß ich zwischen der physikalischen Erklärung der Complementärfarben, welche sich auf eine Zerlegung des Lichtes (natürlich des subjectiven) stützt, und zwischen der physiologischen, welche die Ergänzungsfarben aus Contrasten der Empfindung ableitet, bis dahin keinen Widerspruch erkenne, das Princip ist in beiden Fällen ein physiologisches und es handelt sich nur darum, es auf den einzelnen Fall passend anzuwenden.

Fechner, welcher mit großem Scharfsinn nachgewiesen hat, wie jedes Auftreten von Ergänzungsfarben auf eine Zerfällung des Lichtes zurückgeführt werden könne, macht ausdrücklich darauf aufmerksam, wie die Complementärfarbe nicht als Folge des primären Farbeindrucks auftrete, sondern gleichzeitig mit dieser <sup>1)</sup>. So entsteht der complementäre Schatten gleichzeitig mit dem objectiv gefärbten, und ein farbiges Papier, welches man in grossem Lichte betrachtet, überzieht sich in Folge der gleichzeitigen Complementärwirkung mit einem grauen Schimmer. In diesem Punkte nähern sich Fechner's Ansichten denen von Plateau und Lehot, welche der Abstumpfungstheorie entgegen-treten und darauf dringen, das Auftreten der Ergänzungsfarben als etwas Primäres und physiologisch Gefordertes zu betrachten.

Dagegen erklärt sich Fechner ausdrücklich gegen Plateau's Auffassung der Ergänzungsfarben als Contraste, wobei die sich ergänzenden Farben den positiven und negativen Wellen verglichen werden, von welchen das Anschwellen der einen ein Sinken der andern unvermeidlich nach sich zieht <sup>2)</sup>. Wäre diese Auffassung richtig, so müßte einem intensiven Primäreindrucke ein gleich intensives complementäres Nachbild folgen, eben so müßte bei den farbigen Schatten jeder intensiv gefärbte objective Schatten einen eben so intensiv gefärbten subjectiven bedingen, was nicht der Fall ist. Im Gegentheil lehrt die Erfahrung, daß bei anhaltender Betrachtung einer sehr intensiven Farbe das Nachbild sehr lange Zeit die primäre Färbung behält, und daß das complementäre Nachbild entweder nur schwach und kurze Zeit auftritt, oder wohl gar ganz ausbleibt. Während Plateau und seine Anhänger annehmen, das Auge, welches Roth gesehen, ergänze die Empfindung durch Grün, indem es dieses positiv hervorrufe, behauptet Fechner, daß nach Abstumpfung der rothen Thätigkeit die complementäre grüne von der ganzen weißen Thätigkeit als Rest übrig bleibe.

Anlangend das Abklingen der Farbenbilder, so ist vor der Hand noch keine Theorie im Stande gewesen, die hierbei vorkommenden Erscheinungen verständlich zu machen. Unerklärlich ist hier sowohl die Reihenfolge der Farben auf einander, in sofern sie bei verschiedenen Individuen verschieden ausfällt, als zweitens der Farbengegensatz zwischen dem Nachbilde und seinem Grunde, welcher keineswegs immer ein complementärer ist, so wie endlich drittens die farbigen Umkreise, welche das Nachbild umgeben, und sich von diesem nicht minder als von dem Grunde unterscheiden.

<sup>1)</sup> Poggenдорff's Annalen der Physik und Chemie. Bd. 44 und 45.

<sup>2)</sup> Ebenbaselbst Bd. 32.



Das scheinbar Ungefehlliche dieser Erscheinungen mag darauf beruhen, daß sie von Kräften abhängen, welche mit verschiedenen Werthen in verschiedenen Individuen wirken, in welchem Falle sich natürlich verschiedene Resultanten ergeben. Man muß annehmen, daß jeder Farbenempfindung eine eigenthümliche organische Thätigkeit zu Grunde liege, und wir dürfen vermuthen, daß die hierbei in's Spiel tretenden Kräfte, sowohl der Energie als der Ausdauer nach, bei verschiedenen Menschen verschieden beschaffen sind. — Gesezt also, man hätte eine weiße Scheibe auf schwarzem Grunde fixirt, so kann man beim Schließen der Augen entweder eine weiße oder eine farbige Scheibe sehen, je nachdem entweder der Reiz so heftig war, daß er den Nervenfibern einen Impuls gab, der noch eine Zeit lang in gleichen Oscillationen fortwirkt, oder umgekehrt das Auge nur mäßig afficirte und ihm also bei Ausschließung äußern Lichtes überläßt, sich selbstständig die Farbe zu erzeugen, zu der es in Folge organischer Bedingungen am meisten disponirt ist. Hier ist nun gar nicht abzusehen, warum bei verschiedenen Menschen diese organischen Bedingungen ganz dieselben sein sollten. Im Gegentheil, wie bei verschiedenen Individuen das weiße Nachbild früher oder später dem farbigen Platz macht, so kann es gar nicht befremden, daß es bei Sokalski durch Orange, bei Fehner durch Blau, bei mir durch Grün verdrängt wird. Mit Zugrundelegung der gewöhnlichen Vorstellungen, würde ich die Differenzen in der Farbe des Nachbildes so auffassen: Jeder bestimmten Farbenempfindung liegt eine organische Thätigkeit zu Grunde, welche nach individuellen Verhältnissen einen verschiedenen Grad von Erregbarkeit und Ausdauer in ihrem Wirken zeigt. Die Empfindung des Weißen ist die Resultante aus dem Zusammenwirken aller jener Thätigkeiten. Wird das Auge durch Fixation eines weißen Objectes angestrengt, so ermüdet jede der partikulären Thätigkeiten, welche die einzelnen Farbenempfindungen bedingen, nach dem Grade ihrer Reizbarkeit und Tenacität, und das Nachbild nimmt die Farbe derjenigen Thätigkeit an, welche am wenigsten erschöpft ist. Wie aber alle Thätigkeiten gewissen Schwankungen unterworfen sind, so kann auch die Thätigkeit, welche die erste Farbenphase des Nachbildes hervorruft, nicht immer die herrschende bleiben, sie macht einer zweiten Thätigkeit Platz, diese einer dritten, und so entsteht das Abklingen der Farbenbilder.

Ist nach dem Gesagten verständlich, warum das Nachbild selbst bei verschiedenen Menschen durch eine verschiedene Folge von Farben hindurchtritt, so ist auch wenig befremdlich, daß die farbigen Umkreise und das Verhältniß des Nachbildes zu seinem Grunde Verschiedenheiten zeigt. Ein sympathisches Verhältniß zwischen den verschiedenen Theilen der Rezhaut ist unzweifelhaft, daß aber die Sympathien zwischen dem direct gereizten Theile derselben und dem nicht gereizten ebenfalls unter dem Einfluß der Reizbarkeit und Tenacität der einzelnen Farbenthätigkeiten stehen werden, ist äußerst wahrscheinlich.

### B. Keine Raumanschauung.

Wenn zwei Punkte einer und derselben Rezhaut gereizt werden, gleichviel ob durch Licht, welches in's Auge fällt, oder durch mechanischen Druck, oder in irgend einer andern Weise, so entstehen zwei räumlich gesonderte Empfindungen. Die Empfindungspunkte stehen in einer gewissen Entfernung von einander und haben gegen einander eine gewisse Lage, welche unbedingt wiederkehrt, so oft dieselben Rezhautpunkte in Affect gerathen, und welche nie eintritt, wenn nicht eben diese, sondern andere Theilchen der Rezhaut erregt wer-



den. Reizen wir alle empfindenden Punkte derselben Netzhaut, so veranlaßt jeder eine discrete Empfindung, aber alle diese einzelnen Empfindungen bilden ein zusammengehöriges Ganze, welches wir Gesichtsfeld nennen. Wie es um die Räumlichkeit dieses Gesichtsfeldes stehe, lernen wir am besten, wenn wir die Augen schließen. Das Schattensfeld, welches wir dann bemerken, ist das räumliche Areal, in welches die in der Energie des Dunkeln thätigen Netzhautpunkte ihre Empfindungen eintragen.

Jedem bestimmten Netzhautpunkte entspricht nun eine bestimmte Stelle des Sehfeldes. Betrachten wir dasselbe bei geschlossenem Auge im Schatten, und drücken mit der Fingerspize an einem gewissen Punkte den Augapfel, so entsteht an einer bestimmten Stelle des Schattensfeldes, und nie wo anders, ein feuriger Kreis, dagegen ändert sich die Lage dieses Kreises unfehlbar, wenn der Ort des Druckes eine Veränderung erleidet.

Die vollkommen constanten Beziehungen zwischen der Räumlichkeit der afficirten Netzhautfläche einerseits und der Räumlichkeit des Sehfeldes andererseits, beweisen hinreichend, daß es sich hier um etwas angeborenes handle. Das Auge ist so gebaut und mit dem Seelenorgane in eine derartige Verbindung gesetzt, daß die Reizung eines bestimmten Netzhautpunktes wiederum in einem bestimmten Punkte des Sehfeldes zur Empfindung wird.

Nun sind aber die Beziehungen zwischen der Räumlichkeit des Sehfeldes und der Netzhautfläche nicht nur constant, sondern auch correspondent. Werden Netzhautpunkte gereizt, welche concentrisch um den Axenpunkt der Netzhaut liegen, so sehen wir einen Kreis im Centrum des Sehfeldes, und jede geometrische Figur, welche durch Lichtstrahlen auf der Retina dargestellt wird, erzeugt eine Empfindung eben dieser geometrischen Figur. Hieraus folgt, daß ein Geist, welcher geometrischer Begriffe fähig ist, aus der reinen Anschauung der Figur die Beschaffenheit derselben entwickeln wird, und daß hierzu weder die Mitwirkung des Tastsinnes noch überhaupt vorgängige Erfahrung erforderlich ist. Die in einem frühern Abschnitte erwähnten Beobachtungen an einem operirten Blindgeborenen, bestätigen wenigstens die eine Hälfte dieser Aussage.

Die Raumanschauungen sind also mit der Anlegung des Sehorganes primitiv gegeben. Ein Auge kann nicht ohne Sehfeld und ein Sehfeld nicht ohne Apercption des räumlichen Nebeneinander gedacht werden, aber die Raumanschauung, eben weil sie nur Anschauung ist, beschränkt sich auf das Gesichtsfeld, so daß das Sehen, als reine Empfindung, von einem Raume außer diesem Gesichtsfelde nicht die mindeste Notiz giebt. Schon aus diesem Grunde ist es unrichtig zu sagen, daß das Auge seine Empfindungen geradlinig durch den Kreuzungspunkt der Richtungslinien nach außen versehe, denn das Auge als reines Sinnesorgan kennt kein außen. Die vollständige Widerlegung dieses Irrthums sei einem spätern Abschnitt vorbehalten.

### C. Einfach- und Doppeltschén <sup>1)</sup>.

Beide Augen vereinigen sich zur Empfindung eines Gesichtsfeldes. Analysiren wir dieses Phänomen, so findet sich nach Grundlage des vorigen Abschnittes Folgendes: Die Totalität der sensibeln Punkte der einen Netzhaut trägt ihre Empfindungen in dasselbe Sehfeld, als die Totalität der sensibeln

<sup>1)</sup> Der hierher gehörige Stoff ist mit besonderer Klarheit in Joh. Müller's vortrefflichem Werke: zur vergleichenden Physiologie des Gesichtsinnes, Leipzig 1826, entwickelt.



Punkte der andern Netzhaut. Es vereinigen sich also immer je zwei Punkte beider Netzhäute zur Production eines Punktes in dem Einen Gesichtsfelde. Denn da die Summe der empfindenden Punkte Einer Netzhaut gleich ist der Summe der empfundenen Punkte im Gesichtsfelde, so können nur zwei Punkte der Netzhäute und nicht mehrere zur Herstellung eines Empfindungspunktes im Gesichtsfelde zusammentreten. Nennen wir solche Punkte der Netzhaut, welche sich zu einer Empfindung vereinigen, identische, und solche, welche dies nicht thun, differente, so ist zu sagen, jeder beliebige Punkt der Netzhaut verhält sich zu Einem des andern Auges als identischer, zu allen übrigen dagegen als differenter.

Die Folgen dieser organischen Bedingungen lassen sich berechnen. Fällt das Licht eines leuchtenden Punktes der Außenwelt auf identische Punkte der Netzhaut, so muß er einfach erscheinen, fällt er dagegen auf differente Punkte, so muß er unvermeidlich doppelt gesehen werden. Die Erfahrung bestätigt diese Betrachtung zunächst in so weit, als eine kleine Veränderung der Augenstellung macht, daß ein Object, welches wir ursprünglich einfach sehen, in ein Doppelbild zerfällt. Man fixire etwa eine Stecknadel oder einen Federkiel vor einem dunkeln Hintergrunde, so erscheinen sie einfach, dann fixire man einen beliebigen Punkt in größerer Nähe oder Ferne, beispielsweise den Hintergrund, vor welchem sich das Object befindet, selbst, so erscheint die Nadel oder Feder im Doppelbilde.

Nach der gegebenen Deduction verhält sich ein gewisser Punkt der Netzhaut nur zu Einem der andern Netzhaut identisch, zu allen andern hingegen different; es steht also zu erwarten, daß ungleich mehr Objecte in verdoppelten als im einfachen Bilde erscheinen werden. Auch dies bestätigt die Erfahrung. Wenn man über einen weißen Faden, welcher vor einem dunkleren Grunde ausgespannt ist, ungefähr wie über ein Blaserohr hin visirt, so erscheint der Faden doppelt. Fixirt man einen bestimmten Punkt des Fadens, so kreuzen sich die beiden Fadenbilder im Fixationspunkte. Da nun jeder Faden eine überaus große Menge leuchtender Punkte enthält, so bestätigt dies Experiment, daß nur Einer von Allen einfach, die große Masse der übrigen aber ohne Ausnahme doppelt erscheint.

Es bliebe übrig zu untersuchen, welche Punkte der sensibeln Netzhautfläche sind identisch und welche sind different. Um die Lage der fraglichen Punkte angeben zu können, wollen wir uns die Endpunkte der optischen Achse als die Pole des sphärischen Augapfels vorstellen und annehmen, er sei nach Art der Erdkugel durch Längen- und Breitengrade abgetheilt. Mit Bezug auf diese Eintheilung scheint folgender Lehrsatz gültig: Identisch sind die Punkte beider Netzhäute, welche unter gleichen Längen- und Breitengraden liegen. Hieraus ergäbe sich denn von selbst, daß alle anders gelegnen Punkte differente wären.

Die Beweisführung dieses Lehrsatzes kann keine exacte sein, aber die Wahrscheinlichkeit spricht aufs Entschiedenste für seine Richtigkeit. Zunächst lehrt die Erfahrung, daß jeder Punkt einfach erscheint, welcher fixirt wird. Da Fixiren nichts anders ist, als die Augen so stellen, daß der betrachtete Punkt in die Kreuzungsstelle der optischen Axen zu liegen kommt, also sein Licht auf die Axenpunkte der Netzhäute, oder nach der eben gebrauchten Nomenclatur auf die Pole fällt, so ist im vorliegenden Falle die Uebereinstimmung unseres Lehrsatzes und der Erfahrung keinem Zweifel unterworfen.

Fixirt man ferner den Kreuzungspunkt zweier kleinen Linien, welche sich schneiden, so erscheint nicht bloß der Kreuzungspunkt  $x$ , sondern es erscheinen



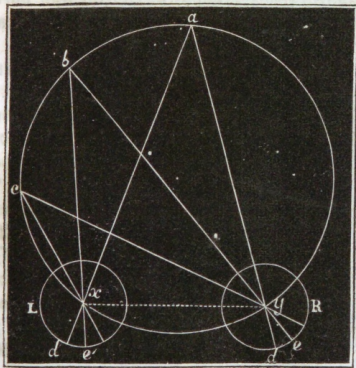
auch die Endpunkte  $acbd$  einfach,  $d \begin{smallmatrix} a \\ | \\ c \end{smallmatrix} b$ . Nach der Theorie der Rich-

tungslinien ist unzweifelhaft, daß der Punkt  $a$ , sein Netzhautbild in jedem Auge senkrecht unter dem Brennpunkte der Retina darstellt. Bezeichnen wir die senkrechte Linie, welche vom Brennpunkte jedes Auges durch das Netzhautbild von  $a$  gezogen wird, als ersten Meridian, so liegen auch hier die einfach erscheinenden Punkte  $acbd$ , unter gleichen Längen- und Breitengraden, und die Theorie ist wiederum gerechtfertigt, wenigstens in so weit, als die Abwesenheit von Doppelbildern in dem angeführten Experimente, durch die Empfindung hinreichend constatirt ist.

Identisch ist die obere Seite der einen Netzhaut mit der oberen Seite der andern, ebenso die eine untere Hälfte mit der andern unteren Hälfte, dagegen correspondirt die Innenseite des einen Auges mit der Außenseite des andern, so daß Außenseiten wie Innenseiten unter sich different sind. Drückt man daher mit der Fingerspitze die beiden Augäpfel in der Gegend der äußern Augenwinkel, so entstehen zwei Druckfiguren an den gegenüber stehenden Seitenrändern des Sehfeldes, drückt man dagegen das eine Auge im innern, das andere im äußern Augenwinkel, so entsteht nur eine Druckfigur und zwar an derselben Stelle, wo sie auftritt, wenn man die eine oder die andere der angegebenen Stellen einzeln drückt. Nun liegen aber diese ungleichnamigen Stellen, wenigstens annäherungsweise, unter gleichen Längen- und Breitengraden und so sind auch diese Erfahrungen der aufgestellten Lehre günstig.

Giebt man zu, daß Objecte, um einfach gesehen zu werden, ihre Lichtstrahlen auf identische Stellen der Netzhaut werfen müssen, so läßt sich beweisen, daß Objecte nur dann einfach erscheinen können, wenn sie in einer Kreislinie liegen, welche einen beliebigen fixirten Punkt und die beiden Kreuzungspunkte der Richtungslinien schneidet.

Fig. 17.



Es bedeuten  $L R$  in Fig. 17. die beiden Augen,  $xa$  und  $ya$ , die in  $a$  zusammentreffenden Seharen, und  $abcxy$  die erwähnte Kreislinie, indem  $xy$  die Kreuzungspunkte der Richtungslinien darstellen. Nun fallen zwei gerade Linien, welche von einem beliebigen Punkte des Kreises, z. B.  $b$ , durch die Kreuzungspunkte verlängert werden, nothwendig auf correspondente Netzhautstellen  $ee'$ ; denn da die Winkel  $axb$  und  $ayb$  nach einem bekannten geometrischen Lehrsatz gleich sind, so muß  $dye$  mit  $d'xe'$  gleich sein, woraus sich die correspondente Lage von  $e$  und  $e'$  von selbst ergibt. Johannes

Müller, dem wir diesen wichtigen Lehrsatz verdanken, nannte die bezeichnete Kreislinie Horopter, wobei er dem Vorgange des *Aguilonius* folgte, welcher unter demselben Namen die Linie zu construiren suchte, in welcher Objecte beiden Augen einfach erschienen. Nach der irrigen Ansicht dieses alten Physikers, war der Horopter eine, durch den Kreuzungspunkt der Seharen gezogene,



und mit derjenigen parallel laufende Linie, welche den Mittelpunkt beider Augen verbindet.

Wir haben oben gefunden, daß das Netzhautbild und die von ihm abhängige Figur im Sehfelde sich geometrisch entsprechen. Wir können nun auch das Sehfeld durch Längen- und Breitengrade einteilen, indem wir das Centrum desselben als Pol benutzen. Unter Zuziehung solcher Hülfslinien läßt sich angeben, welche Stellung zwei Empfindungen im Sehfelde haben werden, welche von differenten Punkten der Netzhaut abhängen. Gesezt, der empfindende Punkt des linken Auges würde  $a$  und sein identischer im rechten  $\alpha$  genannt, gesezt ferner, der empfindende Punkt im rechten Auge heiße  $\beta$  und sein identischer im linken  $b$ , so braucht man nur zu untersuchen, um wie viel Grade  $a$  und  $b$ , oder  $\alpha$  und  $\beta$ , sowohl unter sich, als vom Brennpunkte entfernt liegen, um zu wissen, daß die dazu gehörigen Empfindungspunkte im Gesichtsfelde um eben so viele Grade unter sich aus einander liegen und vom Centrum entfernt sind.

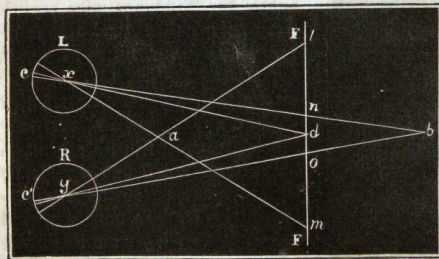
Fig. 18.



derselben Stelle, nur in umgekehrter Ordnung, d. h. wenn das im linken Theile des Sehfeldes befindliche Bild im ersten Falle dem linken Auge gehört, so gehört es im zweiten dem rechten <sup>1)</sup>.

Beziehen wir den Stand eines Gesichtsobjectes auf die Ebene, in welcher der Fixationspunkt liegt, so läßt sich die Lage der Doppelbilder mit geometrischer Genauigkeit entwickeln. Man ziehe zwei gerade Linien von dem Kreuzungspunkte jedes Auges durch den Punkt, welcher doppelt erscheint und durch die Fixationsebene, so bezeichnen die Kreuzungspunkte dieser geraden Linien und der Fixationsebene den scheinbaren Ort der Doppelbilder auf dieser.

Fig. 19.



In Fig. 19. bedeuten  $L R$  die Augen,  $xy$  die Kreuzungspunkte der Richtungslinie,  $FF$  die Fixationsebene, in welcher die Augenachsen  $cd$  und  $c'd$  bei  $d$  zusammentreffen, endlich  $ab$  zwei Punkte, von welchem  $a$  vor dieser Ebene,  $b$  dagegen hinter ihr gelegen ist. Dem vorausgeschickten Lehrsatz zu Folge, sind  $lm$  die Punkte,

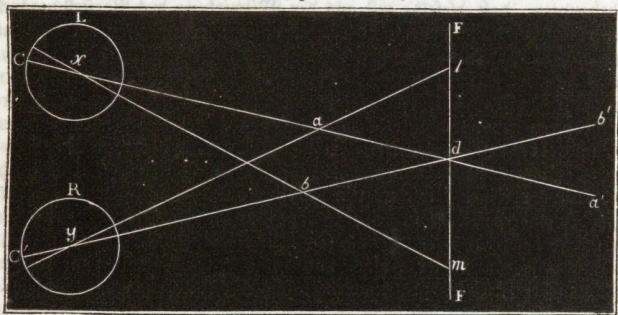
<sup>1)</sup> Mancher Leser wird daran Anstoß nehmen, daß ich den Buchstaben, welche den Ort der Bilder im Sehfelde andeuten, nicht die umgekehrte Stellung von den Buchstaben gegeben habe, welche die Lage der Bilder auf den Netzhäuten bezeichnen. Dies geschah geflissentlich, weil ich behaupten muß, daß in der Sphäre des reinen Empfindens, auf welche sich die gegenwärtige Darstellung beschränkt, von einem umgekehrten Verhältniß zwischen Bild und Empfindung nicht die Rede ist. Hiervon unten ausführlicher.



wo die Doppelbilder des zu nah gelegenen Objectes  $a$  auftreten, während  $n o$  die Stellen anzeigen, wo die Doppelbilder von  $b$  liegen. Der Leser wird sich den Beweis des Lehrsatzes leicht selbst ausführen können, wenn er erwägt, daß die geraden Linien, welche vom Kreuzungspunkte durch das zu nahe Object bis zur Fixationsebene, oder im andern Falle vom Kreuzungspunkte durch die Fixationsebene bis zum fernen Objecte gezogen werden, nichts anderes als Richtungslinien sind, und sich des Lehrsatzes erinnert, daß leuchtende Punkte sich decken, wenn sie in gleichen Richtungslinien liegen. Weil also  $xam$  und  $y al$  Richtungslinien sind, so müssen die leuchtenden Punkte  $a m$  und  $a l$  sich decken, d. h. das Auge  $L$  sieht das Object  $a$  an demselben Punkte, wo es  $m$  sieht, und das Auge  $R$  erblickt  $a$  an demselben Orte als  $l$  u. s. f. w.

Aus denselben Principien folgt, daß zwei leuchtende Punkte, welche außerhalb des Horopters liegen, entweder als 4 oder als 3 Punkte gesehen werden müssen, letzteres nämlich dann, wenn die beiden leuchtenden Punkte in die Verlängerung der optischen Axen fallen. In Fig. 20. sei  $d$  der Punkt, in welchem die Seharen  $cxd$  und  $c'yd$  convergiren und  $FF$  die Fixationsebene. Dann

Fig. 20.



erscheinen die Punkte  $ab$  für das Auge  $L$  bei  $dm$ , für das Auge  $R$  dagegen bei  $dl$ , und folglich ist  $d$  der gemeinsame Ort zweier Bilder, eines Bildes von  $a$  und eines Bildes von  $b$ , welche nothwendig sich decken müssen, da jedes sich mit  $d$  deckt. Es versteht sich nun von selbst, daß 3 Bilder auch dann auftreten müssen, wenn die Objecte  $a$  und  $b$  in der Verlängerung der optischen Axen hinter der Fixationsebene, z. B. bei  $a'$  und  $b'$  liegen.

Wir sehen in vielen Fällen die Doppelbilder nicht, wo sie der Theorie nach erwartet werden dürften, was hauptsächlich von 4 Gründen abhängt. Erstens liegen die Netzhautbilder der Objecte, welche doppelt gesehen werden sollten, fast ohne Ausnahme in seitlichen Theilen des Gesichtsfeldes, wo die Sehkraft schwächer ist. Zweitens werden derartige Objecte in sehr vielen Fällen unter ungünstigen Accommodationsverhältnissen gesehen, und der Natur der Sache nach muß bei jedem Vorkommen von Doppelbildern mindestens einer der genannten Umstände das Deutlichsehen beeinträchtigen, während oft beide verbunden auftreten. Drittens: jede der beiden Netzhautstellen, welche die Doppelbilder produciren, hat ihre correspondirende Stelle im andern Auge, welche ein anderes Bild empfängt und in dieselbe Stelle des Sehfeldes zu setzen sucht. Dieser Wettstreit identischer Netzhautpunkte in der Production verschiedener Bilder für einen und denselben Ort, verwirrt die Empfindung und macht die



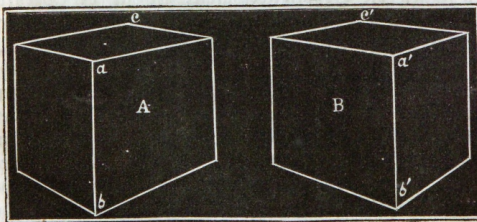
Doppelbilder undeutlich. Viertens endlich convergiren die Seharen mit seltenen Ausnahmen in irgend einem Gegenstande, und indem dieser unter den bei weiten günstigsten Verhältnissen zur Wahrnehmung kommt, nimmt er die Aufmerksamkeit fast ausschließlich in Anspruch und entzieht sie dem übrigen Theile des Gesichtsfeldes. Das letzte Moment ist von vorzugsweisem Einflusse, und erklärt, wie man durch Uebung eine Fertigkeit im Wahrnehmen der Doppelbilder erwerben kann.

Wheatstone benutzte eine Anzahl von Fällen, wo Objecte doppelt gesehen werden sollten und gleichwohl einfach erscheinen, um die oben erörterte Lehre von den identischen und differenten Netzhautstellen anzugreifen. Er machte die sehr scharfsinnige Bemerkung, daß in der That kein Körper, d. h. kein Gesichtsobject, welches Dimensionen der Tiefe hat, mit allen seinen Theilen im Horopter liege, daß also gewisse Conturen desselben unvermeidlich auf differente Netzhautstellen fallen müßten, während gleichwohl die Totalität desselben den Eindruck des Einfachen mache.

Brücke und Tourtual, denen ich vollkommen beistimme, leugnen, daß die Einheit des Eindrucks unmittelbar durch den Empfindungsact gesetzt werde, und behaupten, daß dieselbe erst aus der Mitwirkung des Vorstellungsvermögens hervorgehe. Um von einem Körper mit Tiefendimensionen eine deutliche Anschauung zu gewinnen, müssen wir uns auf eine ähnliche Weise benehmen, als wenn wir eine deutliche Ansicht von einer großen Fläche zu erlangen wünschen. Wir müssen in letzterem Falle, z. B. bei Betrachtung eines großen Gemäldes, den Fixationspunkt durch die ganze Ausbreitung der Fläche wandern lassen, und die Seele combinirt nachmals die in der Zeitfolge gewonnenen Eindrücke zu einem in allen seinen Theilen präsenten Ganzen. Bei Betrachtung eines Körpers verlegen wir auch den Fixationspunkt, wir lassen die Augenaren bald in den näheren, bald in den ferneren Punkten des Objectes zur Kreuzung kommen und bewirken hiermit, daß sämtliche Körpertheile einmal in den Horopterkreis fallen und hier einfach und deutlich gesehen werden. Aus diesen ebenfalls in der Zeitfolge gewonnenen einfachen Elementen, erbaut sich die Seele die einfache Anschauung des Ganzen.

Wheatstone leugnet dies mit Bezug auf eine Reihe der interessantesten Beobachtungen. Betrachtet man einen nicht zu großen Körper in ziemlicher Nähe, so erhält jedes Auge von demselben ein sehr verschiedenes Bild. Ein kleiner Würfel z. B., welcher mit einer seiner scharfen Kanten dem Beobachter zugewendet ist, erscheint dem rechten Auge unter der Form von A, dem linken unter der Form von B.

Fig. 21.



Zeichnet man diese verschiedenen Ansichten auf Papier nahe neben einander (Fig. 21.) und giebt den Augen eine derartige Richtung, daß beide verschmelzen (man vergl. die Erklärung zu Fig. 19.), so sieht man den Würfel wie ein Körperliches vor sich. Der Anblick

wird noch täuschender, wenn man den Versuch mit Wheatstone's Stereoskop anstellt. Dieses Instrument ist so eingerichtet, daß zwei Zeichnungen, welche



genau die Ansichten wieder geben, welche das linke und rechte Auge von einem Körper erhalten, ihre Bilder auf denselben Stellen der Netzhaut entwerfen, auf denen das Object selbst sein Bild würde entworfen haben. Bringt man in das Stereoskop zwei Kreise von etwas verschiedener Größe, so sieht man nur einen Kreis, dessen Peripherie weder so groß als die des einen Auges, noch so klein als die des andern ist, sondern zwischen beiden die Mitte hält.

Wheatstone nimmt an, daß die perspectivisch richtig gezeichneten Figuren durch einen unmittelbaren Empfindungsact stereometrisch begriffen werden, und verwahrt sich ausdrücklich gegen die Annahme, daß hier die Augenaxen jene Bewegungen machten, durch welche oben die Einheit des Bildes erklärt wurde. Ich verspare die Untersuchung, ob die Augenbewegungen bei den Erscheinungen im Stereoskop theilhaftig sind, auf einen späteren Abschnitt, und begnüge mich gegenwärtig zu beweisen, daß eine Verschmelzung differenter Bilder, wie sie Wheatstone annimmt, nicht stattfindet. Man beachte Folgendes:

1) Fixirt man im Bilde des Stereoskops einen bestimmten Punkt, z. B. im Würfelbilde die am weitesten nach hinten liegende Ecke, welche durch die Punkte  $c\ c'$  der Zeichnungen gegeben ist, so erscheinen demjenigen, der hinreichende Übung im Erkennen der Doppelbilder hat, die vorderste Kante des Würfels, welche durch die Linien  $a\ b$  und  $a'\ b'$  der Zeichnungen producirt wird, doppelt, wie der Theorie nach nothwendig ist.

2) Zwei Kreise von verschiedener Größe erscheinen nur dann einfach, wenn sie der Größe nach sich wenig unterscheiden. So erkenne ich auf 13" Entfernung schon 2 Kreise, von 9''' und 10½''' Durchmesser als 2 concentrisch in einander liegende. Bringen wir dies auf Wheatstone's Theorie zurück, so ist zu sagen: nur solche differente Punkte können sich zur Einheit der Empfindung verbinden, deren Repräsentanten im Sehfelde ziemlich nah beisammen liegen. Der Versuch mit den beiden Kreisen gäbe dann die Grenze an, innerhalb welcher differente Punkte sich zur gemeinsamen Action verbinden können. Wenn nun bei Betrachtung der hintern Ecke des Würfels im Stereoskop, der ganze Würfel momentan einfach erscheint, so kann dies nur einen psychologischen Grund haben, denn die Linien  $a\ b$  und  $a'\ b'$  liegen weit außerhalb der oben bemerkten Grenze möglicher Verschmelzung.

3) Aber selbst die Verschmelzung der beiden verschieden großen Kreise, kann nicht, wie Wheatstone meint, ein Product unmittelbarer Empfindung sein: a) weil dann im Auseinandertreten solcher Kreise, welche sich der Größe nach zu wenig gleichen, Uebergangsverhältnisse vorkommen müßten, während, wie auch immer die Diameter gewählt werden mögen, dieselben sich entweder vollkommen decken, oder um ein Ansehnliches auseinanderstehen; b) weil bei directer Verschmelzung der Empfindung ein Kreis mit breiter, gleichsam verwaschener Peripherie entstehen müßte, deren äußerer Contur dem großen Kreise und deren innerer dem kleinen gleich käme.

4) Wenn man einen Faden fixirt, welcher zwischen den Seharen der Länge nach ausgespannt ist, so erscheint er im gekreuzten Doppelbilde, eine Erfahrung, welche mit Wheatstone's Behauptungen in directem Widerspruch steht. Der Faden sollte nach seiner Theorie einfach erscheinen, oder höchstens an den Enden doppelt, welche auf allzu differente Punkte der Netzhäute fielen, denn nur solchen würde das Vermögen abgehen, Netzhautbilder, die von einem Objecte herrühren, in einer Anschauung zusammen zu bringen. — Das gekreuzte Doppelbild des Fadens ist einer der schönsten Beweise für die Lehre von den identischen und differenten Netzhautpunkten, und es fragt sich nur, warum hier



jener psychische Proceß, welcher die Einheit der Empfindung für verschieden Entferntes herstellt, sich so gänzlich unwirksam zeigt? —

Indem Doppelbilder stets undeutlich sind, haben wir Ursache sie zu vermeiden, und das Auge lernt durch Uebung die geeigneten Stellungen annehmen, um die Netzhautbilder auf identische Stellen zu bringen. Wir fixiren das Object, indem wir es in den Kreuzungspunkt der Seharen bringen, aber diese Fixation allein ist nicht immer genügend. Die Einheit der Erscheinung kann für Gegenstände, welche uns einigermaßen nahe und zugleich über oder unter dem horizontalen Durchschnitt unserer Augen liegen, nur unter Mitwirkung der schiefen Augenmuskeln gewonnen werden. Dies beweist am besten das Ophthalmotrop, doch dürfte auch folgende Betrachtung den Zusammenhang klar machen. Bei Fixation naher Objecte sind die Augen nach innen gerichtet. Man übertreibe im Gedanken diese Richtung nach Innen, so würden die optischen Aren mit dem Querdurchmesser der Augenhöhle zusammenfallen und jede Contraction der obern und der untern Augenmuskeln würde nicht eine Hebung und Senkung, sondern eine Arendrehung zur Folge haben. Hieraus ergibt sich, daß bei jeder Convergenz der Augen auf ein Nahes, das Sehen nach oben wie nach unten mit einer mehr oder weniger merklichen Arendrehung complicirt ist. Beim Sehen nach oben rollen die Augen gegen einander zu, beim Sehen nach unten von einander weg, oder mit andern Worten: zwei perpendiculäre Ebenen in der Richtung der optischen Aren durch die Augen gelegt, nähern sich im ersten Falle mit ihren oberen Hälften, im zweiten Falle mit ihren untern. Man denke sich die Grenzen dieser Ebenen als die ersten Längengrade jedes Auges, so wird man einsehen, daß das Bild einer fixirten senkrechten Linie nicht auf identischen Netzhautpunkten bleiben könne, wenn die Augen ihre Stellung veränderten, gleichviel ob nach aufwärts oder nach abwärts.

Der obere und der untere gerade Augenmuskel erzeugen bei convergiren-dem Blicke eine störende Arendrehung, welche nur durch Gegenwirkung der schiefen Muskeln verhütet werden kann. Erinnerung man sich, was über die Wirkung der *Mm. obliqui* in einem frühern Abschnitte gesagt wurde (III. C.), so wird man finden, daß beim Sehen nach oben und innen die obern schiefen Muskeln, beim Sehen nach unten dagegen die oberen thätig sein müssen. Ferner wird man mit Hülfe des Vorausgeschickten begreifen, daß zur Herstellung einfacher Bilder unter Umständen ein unterer und ein oberer schiefer Muskel sich associiren müssen. Dies ist jedesmal nothwendig, wenn beide Augen nach einer Seite und zugleich nach oben oder unten blicken. Denn auch bei dieser Stellung müssen die Muskeln, welche das Auge bei normaler Lage um seine Querare drehen, eine theilweise Drehung um die optische Are bewirken. Nur wird, indem das eine Auge nach außen, das andere nach innen steht, eine Arendrehung correspondenter Art entstehen, beide Augen rotiren entweder nach rechts oder nach links, ein Mißverhältniß der Bewegung, welchem nur durch die associirte Thätigkeit der ungleichnamigen schiefen Augenmuskeln vorgebeugt werden kann. Welche speciellen Muskeln sich bei jeder Art von Augenbewegung combiniren müssen, ergibt sich bei einigem Nachdenken aus dem Gesagten von selbst, übrigens hatte *Rue* alle vorkommenden Combinationen richtig angegeben<sup>1)</sup>.

Man darf fragen, worin die Ursache des Einfachsehens mit identischen Netzhautpunkten liege? Nicht der Tastsinn hat uns belehrt, daß die Objecte einfach seien, welche wir ursprünglich doppelt sehen, sondern das Einfachsehen der identischen Netzhautstellen ist angeboren. Dies beweist, wie *Tourtual*

<sup>1)</sup> Lehrbuch der Ophthalmologie. S. 171.



richtig bemerkt, die geometrisch bestimmbare Lage der Doppelbilder, eines zu nahen und eines zu fernen Objectes, desgleichen die Unmöglichkeit, uns durch Tasten von der Einheit eines Bildes zu überzeugen, welches nun einmal doppelt im Sehfelde vorhanden ist. — Nicht minder wichtig sind die Fälle halbseitigen Sehens bei Desorganisation einer Wurzel des Chiasma, eines Vierhügels oder Sehhügels, einer Hirnhälfte u. s. w., denn da die Blindheit in diesen Fällen stets identische Stellen der Netzhäute betrifft, so kann schwerlich bezweifelt werden, daß eben so wie das gemeinschaftliche Sterben auch das gemeinschaftliche Leben identischer Stellen an die Integrität eines Hirnpunktes organisch gebunden sei. Die Gegner dieser Ansicht beriefen sich hauptsächlich darauf, daß Schielende allmählig einfach sehen lernen, eine Erfahrung, die sehr wenig beweist. Eine Menge von Doppelbildern entgeht ohnehin unserm Bewußtsein, und je stärker das theilhaftige Auge verdreht ist, um so mehr fällt das Bild des fixirten Objectes auf die wenig sensibeln Stellen der Netzhaut. Freilich fällt auch auf das Centrum des schielenden Auges irgend ein Bild, welches seiner Lage nach deutlich empfunden werden könnte, aber je länger der Fehler des Schielens besteht, um so schwächer wird das Gesicht auf der leidenden Seite, und hiermit werden die Doppelbilder, die ja anfangs keineswegs fehlen, mit der Zeit schwächer und schwächer.

Prüft man übrigens die Erklärung des Einfachsehens durch Erziehung des Gesichtsinnes sorgfältiger, so stößt man auf Unklarheiten. Gesezt die Erfahrung könnte uns allmählig zu der Erkenntniß führen, daß ein Object, welches wir doppelt sehen, in Wirklichkeit eins wäre, so wüßte ich doch nicht, welche Art der Erfahrung uns veranlassen könnte, das Schattenfeld als eines zu empfinden. Ferner giebt man zu, was a priori nothwendig ist und später durch eine interessante Erfahrung bestätigt werden soll, daß die Größe des Gesichtsfeldes von der Zahl der diskret empfindenden Nervelemente abhängt, so müßte das Gesichtsfeld im Anfange, wo sämtliche sensibeln Punkte diskret sein sollen, doppelt so groß sein als später, nach erlangter Uebung im Sehen. Die ärgste Verwirrung entsteht aber, wenn man sich Rechenhaft zu geben sucht, welche Veränderungen im Areal des Gesichtsfeldes eintreten müßten, wenn bei erworbenem Schielen sich die schon gewonnene Identität gewisser Netzhautpunkte lösen und in andere Combinationen übergehen sollte. Man reducire die Zahl der empfindenden Punkte in jedem Auge auf 3, und denke sich, daß in Folge von Angewöhnung die Punkte  $abc$  des einen Auges den Punkten  $a'b'c'$  des andern entsprechen. Nun fängt das Auge an zu schielen, und soll lernen  $a$  mit  $b'$ ,  $b$  mit  $c'$  und  $c$  mit  $a'$  zu verbinden. Ehe diese neue Gewöhnung entstehen kann, muß die alte sich auflösen, aus 3 identischen Paaren von Punkten entstehen 6 einzelne, und folglich müßte eine Uebergangszeit vorkommen, wo sich die Größe des Sehfeldes verdoppelte!

Die anatomische Untersuchung des Chiasma lehrt, daß in diesem die Fasern des Sehnerven eine theilweise Kreuzung erfahren. Ein Theil der Fasern des linken Nerven geht zum linken, ein anderer Theil zum rechten Auge und umgekehrt. Da nun die pathologischen Erfahrungen dafür sprechen, daß Fasern, welche auf einer und derselben Seite des Gehirnes entspringen, zu identischen Stellen der Netzhaut gehören, so ist erklärlich, wie jedes Auge ein Netzhautareal erlange, welches mit einem entsprechenden des andern Auges identisch wirke. Weiter lehrt die Anatomie, daß die äußern Faserbündel jedes Nerven im Chiasma ebenfalls nach außen liegen und sich nicht kreuzen. Erlauben wir uns die Voraussetzung, daß diese Faserbündel ihre Lage auch im weiteren Verlaufe beibehalten und die Außenseiten der Augen versorgen, so ist begreiflich, warum diese different wirken. Weitere Aufschlüsse über den organischen Grund



des Einfachsehens vermag die Anatomie zur Zeit nicht zu geben. Ob die Identität der Fasern auf einer endlichen Verschmelzung derselben beruhe und wo diese zu Stande komme, ist unbekannt, die Hypothesen, welche in diesem Bezuge aufgestellt worden sind, glaub' ich übergehen zu dürfen.

Während beide Augen beim Sehen sich in der Weise zu einer gemeinsamen Thätigkeit verbinden, daß die Duplicität der Netzhautbilder in der Einheit des Gesichtsfeldes zur Verschmelzung kommt, so verbinden sie sich, wenn verschiedenfarbiges Licht die eine und die andere Netzhaut trifft, doch nicht in der Weise, daß die Differenz der Farben in einer vollständigen Mischungsfarbe verloren ginge. Es war du Tour, welcher zuerst auf diesen merkwürdigen Umstand aufmerksam machte. Wenn man vor dem einen Auge ein gelbes, vor dem andern ein blaues Glas anbringt, und dann eine weiße Fläche betrachtet, so gleicht sich, wie Joh. Müller richtig bemerkt, das Plus und Minus des Lichtes, welches durch das eine dunklere und das andre hellere Glas einfällt, zu einer mittleren Beleuchtung des Gesichtsfeldes aus, aber die beiden Farben erfahren keine vollständige Verschmelzung. Nämlich entweder sieht man abwechselnd bald die eine und bald die andere Farbe im Gesichtsfelde auftauchen, oder wenn es gelingt, die Empfindungen beider Augen zu verschmelzen, so sieht man eine schmutzige nur wenig in's Grünliche spielende Farbe, aber nichts weniger als ein reines Grün. Dasselbe wird wahrgenommen, wenn man das eine Auge mittelst eines leichten Fingerdruckes ein wenig verschiebt und dadurch bewerkstelligt, daß die Bilder zweier gefärbten Papierstreifen sich decken.

Es ist schwer, die Empfindung mit Worten zu beschreiben, welche entsteht, wenn identische Netzhautpunkte von differentem Lichte getroffen werden, und hieran mag es hauptsächlich liegen, daß einige Beobachter eine Mischung der Farben wahrzunehmen behaupteten, obschon bei der verschiedenen Empfänglichkeit für Farbeindrücke nicht unbedingt geleugnet werden kann, daß solche Behauptungen in einzelnen Fällen eine subjective Begründung haben mögen. Jedenfalls ist als Regel anzunehmen, daß differente Farben, welche identische Netzhautstellen treffen, nicht eine derartige Mittelfarbe erzeugen, wie diese aus der Vermischung eben derselben Malerfarben hervorgehen würde. Dies geschieht selbst dann nicht, wenn das gefärbte Licht, welches zum Versuche benutzt wird, ein vollkommen reines ist, wie die Versuche beweisen, in welchen ich verschiedene Farbenstrahlen des Prisma in mein Auge fallen ließ <sup>1)</sup>.

Ich fühlte mich veranlaßt zu untersuchen, was entstehe, wenn verschiedenfarbiges Licht auf einen und denselben Punkt eines und desselben Auges falle, und erhielt das merkwürdige Resultat, daß selbst in solchen Fällen nicht nothwendig die reine Mischungsfarbe gesehen werde <sup>2)</sup>. Um verschiedenfarbiges Licht auf denselben Punkt der Netzhaut zu erhalten, betrachtete ich einen gefärbten Papierstreifen, welcher beträchtlich schmaler war, als der Durchmesser der Pupille, vor einem anders gefärbten Hintergrunde. Befindet sich nun letzterer in einer Entfernung von 12—15", der Papierstreifen dagegen etwa 3" vom Auge, so entsteht auf derselben Stelle der Netzhaut sowohl ein Bild des Papierstreifens, als auch derjenigen Partie des Hintergrundes, welche mit dem Streifen in gleicher Richtungslinie liegt. Man sieht durch den farbigen Papierstreifen hindurch den farbigen Hintergrund, in ähnlicher Weise, wie man durch einen farbigen Flor verschiedenfarbige Gegenstände in ihren eigenthümlichen Farben wahrnimmt. Bei derartigen Versuchen habe ich folgende Bemerkungen gemacht: Die beiden Farben des Papierstreifens und des Hinter-

<sup>1)</sup> Beiträge, S. 93.

<sup>2)</sup> Müller's Archiv, 1838. S. 373.



grundes, geben in keinem Falle die zu erwartende Mittelfarbe, sondern höchstens einen schmutzigen Farbenton, der zu jener hinneigte, aber auch dies selten. Gewöhnlich sieht man nur eine Farbe, entweder die des Hintergrundes oder die des vordern Streifens, welche zwar eine Veränderung allerdings erfahren hat, aber nur in so fern, als sie minder intensiv, gleichsam verwachsen und anders beleuchtet erscheint. Denn auch in diesen Versuchen gleicht sich gewöhnlich das Licht und Schattige beider Farben zu einem mittleren Eindrucke aus, und Ausnahmen von dieser Regel scheinen nur da vorzukommen, wo aus subjectiven Gründen die Wahrnehmung des Kontrastes sich geltend macht. Betrachtet man z. B. einen gelben Papierstreifen vor einem zur Hälfte schwarzen, zur Hälfte blauen Hintergrunde, so erscheint derselbe vor dem Schwarz heller als vor dem Blau, wahrscheinlich deshalb, weil das Schwarz das Auge gar nicht reizt und die Kraft des Empfindens sich in der Auffassung der Farbe concentriren kann.

Ich bemerkte in den erwähnten Versuchen ferner, daß verschiedene Umstände darauf Einfluß haben, welche der beiden Farben, die gleichzeitig in's Auge fallen, zur Wahrnehmung kommen. Wird nämlich exclusiv nur die eine der beiden Farben wahrgenommen, so ist dies entweder die hellere, besonders wenn die Helligkeit mit Glanzlicht verbunden ist, oder die Farbe des fixirten Objectes, oder endlich diejenige Farbe, auf welche die Aufmerksamkeit gerichtet ist. Das letztere Moment hat ein besonderes physiologisches Interesse. Wenn trotz der Fixation des Hintergrundes, dennoch die Farbe des vordern Papierstreifens gesehen wird, so gelingt es, aber nur bei gewissen Farbentönen durch die Kraft des Willens diese Farbe zu verbannen und ihr die des Hintergrundes zu substituiren. Diese Substitution ist nicht ein Werk der Phantasie, denn nicht nur fühlt das Auge sich bei diesem Experimente angestrengt, sondern es hängt auch nicht von dem Willen des Beobachters ab, die substituirte Farbe sich anhaltend zu vergegenwärtigen. Vielmehr tritt dann ein Schwanken der Empfindung ein, und es erscheint abwechselnd und in nicht zu bestimmenden Intervallen, bald die Farbe, welche man sehen will, bald diejenige, welche man nicht sehen möchte, und welche bei mangelnder Anspannung des Geistes allein auftritt. Mit Bezug auf diese Beobachtungen glaubte ich annehmen zu müssen, daß die subjective Selbstthätigkeit auf die Empfänglichkeit der Netzhaut für die eine oder die andere der Farben, welche gleichzeitig in's Auge fallen, einen Einfluß habe. Es gereicht mir zur besondern Befriedigung, daß Courtnal sich sowohl mit den Beobachtungen als den daraus gezogenen Schlüssen einverstanden erklärt hat <sup>1)</sup>.

Die eben erzählten Versuche können indeß nicht beweisen, daß dem Auge die Fähigkeit ganz abgehe, verschiedenes Licht, wenn es dieselbe Stelle der Netzhaut trifft, zu einer wahren Mischungsfarbe zu verbinden. Mile macht darauf aufmerksam, daß gestreifte Zeuge oder farbige Stoffe mit einem andersfarbigen Flor bedeckt, in einer gewissen Entfernung die reine Mischungsfarbe geben, und bemerkt ganz richtig, daß eine durch Mischung von Blau und Gelb erhaltene grüne Farbe, doch nur aus blauen und gelben Molekülen bestehe, welche den Eindruck der Einheit machen, weil die auf der Netzhaut über einander greifenden Farbenbilderchen von dem Sehorgane zur Mischungsfarbe verschmolzen werden <sup>2)</sup>. Hiernach entsteht die Frage, warum verschie-

<sup>1)</sup> Müller's Archiv, 1840. Jahresbericht S. 62 ff.

<sup>2)</sup> Ebenbaselbst, 1839. S. 64.



dene Farben, welche auf eine und dieselbe Stelle der Netzhaut fallen, in gewissen Fällen sich mischen, in andern nicht. *Mile* bemerkt, daß in den von ihm angeführten Fällen es immer viele und abwechselnd gestellte Farbenstellen sind, welche man betrachtet, was zur Folge haben müsse, daß die verschiedenfarbigen Bilder mehrfach in einander greifen und darum vollständiger sich mischen. Statt dessen bilde der in meinen Versuchen betrachtete Papierstreifen vor einem andersfarbigen Grunde nur zwei (?) Reihen von Zerstreuungskreisen, welche nur in ihrer Mitte eine etwas intensivere, am Rande aber schnell abnehmende Färbung gäben, sich also mit der Farbe des Hintergrundes nicht genug sättigten. Die Zulänglichkeit dieser Erklärung möchte ich indeß schon darum bezweifeln, weil in meinen Versuchen der schmale Farbenstreif bisweilen die Farbe des Hintergrundes vollkommen verdrängte. War die Farbe des schmalen Streifens intensiv genug, um die gleichzeitig in's Auge fallende zweite Farbe völlig niederzuschlagen, so hätte sie auch hinreichend gesättigt sein müssen, um dieselbe zur Mischungsfarbe umzustimmen. Es zeigt sich aber ferner auch dann keine Mischungsfarbe, wenn man durch einen farbigen Schleier gefärbte Flächen betrachtet, vorausgesetzt, daß der Schleier nicht auf dem anders gefärbten Objecte unmittelbar aufliegt, vielmehr dem Auge beträchtlich näher steht als jenes. So fand ich es bei Betrachtung einer himmelblauen Fläche durch dichten citronengelben Flor, dessen Maschen nur sehr wenig breiter waren als die Fäden des feinen Stoffes selbst. *Tourtual* glaubt, verschiedenfarbiges Licht werde von derselben Stelle der Netzhaut dann zur Mittelfarbe verbunden, wenn die Lichtstrahlen von einem Punkte ausgehen und in einer Richtung in's Auge fallen, während in Fällen, wo diese Bedingungen fehlen, eine Farbenverschmelzung nicht eintrete. Streng genommen kann ersteres nie vorkommen, aber auch abgesehen hiervon erregt jene Erklärung Bedenken. Wenn ein gestreiftes Zeug in einiger Entfernung in der Mischungsfarbe erscheint, so gehen die verschiedenen Farbenstrahlen entschieden nicht von denselben Punkten aus, und wiederum fällt in den von mir angestellten und von *Tourtual* bestätigten Versuchen, in welchen eine Mischungsfarbe nicht bemerkt wird, das verschiedenfarbige Licht so weit in gleicher Richtung in's Auge, als dies überhaupt je möglich ist. Ich finde zwischen den von *Mile* berücksichtigten Fällen, wo Farbenmischung eintritt, und meinen Experimenten, wo sie nicht eintritt, zur Zeit nur den einen Unterschied, daß in jenen die farbigen Objecte in gleicher Entfernung vom Auge liegen, in diesen dagegen in ungleicher, aus welchem Unterschiede ich jedoch die Verschiedenheit der Erscheinungen nicht abzuleiten weiß.

Die Thatfache, daß dieselbe Netzhautstelle eines Auges von zwei elementaren Farben gleichzeitig gereizt werden kann, ohne zu einer mittlern Empfindung bestimmt zu werden, scheint von entschiedener Wichtigkeit, theils in psychologischer Hinsicht, theils in physiologischer. So lange man nur wußte, daß identische Stellen der beiden Augen sich nicht zur Empfindung der Mittelfarbe vereinigten, war es ein großes Räthsel, warum solche Stellen sich zur Einheit der Raumanschauung, nicht aber zur Einheit der Farbenempfindung verbanden. Vielen erschien dies nicht nur ein Räthsel, sondern ein Widerspruch, den sie nur dadurch glaubten beseitigen zu können, daß sie die ganze Lehre von den identischen Stellen verwarfen, und die Einheit des Bildes aus einer psychologischen Verknüpfung organisch gesonderter Eindrücke ableiteten. Nach dem Mitgetheilten ist zwar das Räthsel nicht gelöst, warum die identischen Stellen beider Netzhäute nicht auch 2 Farben in eine verschmel-



zen, wohl aber ist die Fragstellung eine andere geworden. Da nämlich dieselbe Netzhautstelle desselben Auges einen derartigen Verschmelzungsproceß nicht nothwendig einleitet, so findet sich, daß dieser den identischen Stellen von vorn herein nicht anzumuthen ist. Du Tour's merkwürdige Erfahrungen stehen mit der Lehre von den identischen Netzhautpunkten nicht in directem Widerspruch.

Daß die Seele zwei Einflüsse, welchen sie gleichzeitig offen steht, auseinander zu halten wisse, ist in sofern nicht auffallend, als Ähnliches vielfach vorkommt (jeder gute Musiker unterscheidet die einzelnen Töne eines vollstimmigen Accords), aber sehr merkwürdig und fast unglaublich ist es, daß das materielle Organ zwei gleichzeitige physische Einflüsse gesondert aufnehmen sollte. Das Organ wird durch einen Reiz physikalisch umgestimmt, wirken zwei Reize gleichzeitig, so sollte die Umstimmung sich wie die Diagonale im Parallelogramm der Kräfte verhalten, ich meine, es sollte Eine Umstimmung da sein, Ein organischer Zustand, welcher ein Mittel Ding wäre, aus den beiden Zuständen, welche jeder Reiz für sich hervorgebracht haben würde. Erwägt man freilich, daß die Lichtstrahlen, welche von zahllosen Punkten ausgehen, sich millionenfach durchkreuzen, ohne sich zu stören (vielleicht das größte physikalische Räthsel, welches noch zu lösen ist), so kann man wohl sich denken, daß auch die den Lichtwellen entsprechenden Nervenschwingungen, durch den Leitungsapparat hindurchdringen, ohne sich zu vermischen.

#### D. Von der Schärfe des Gesichtes.

Ziemlich allgemein bezieht man die Schärfe des Gesichtes auf die Befähigung, sehr kleine Objecte auch ohne vergrößernde Mittel wahrzunehmen, während man die Deutlichkeit des Sehens in die Schärfe der Conture setzt, welche ebenfowohl bei großen als kleinen Körpern fehlen kann. In diesem Sinne hängt die Schärfe des Gesichtes vorzugsweise von der Sensibilität der Netzhaut, die Deutlichkeit dagegen von den brechenden Mitteln und der durch sie bedingten Vereinigung des Lichtes ab. Indes sind Schärfe und Deutlichkeit des Sehens nicht streng zu sondern. Mag nun die Netzhaut unfähig sein, Objecte unter sehr kleinen Gesichtswinkeln zu erkennen, oder mögen die brechenden Mittel einen schlechten Focus bilden, immer wird die Folge die sein, daß benachbarte Netzhauttheilchen ihre Empfindungen verschmelzen, daß aus zwei gesonderten, vielleicht verschiedenen Eindrücken, welche da sein sollten, ein einziger Mitteleindruck hervorgeht, und daß demnach die Feinheit der Empfindung, welche sich auf Unterscheidung der Theile eines Ganzen bezieht, beeinträchtigt wird.

Das Gesagte ist auf die Erscheinungen des undeutlichen Sehens leicht anzuwenden. Betrachtet man ein Object bei fehlerhafter Accommodation, so bildet sich für jeden Punkt des Gegenstandes ein Zerstreuungskreis, die Zerstreuungskreise schieben sich übereinander, die Empfindungen, welche von verschiedenen nahe beisammen liegenden Punkten des Objectes ausgehen, confundiren sich, und es wird daher schwieriger oder selbst unmöglich, die Differenz derselben wahrzunehmen. Man mache auf einen Bogen weißes Papier kleine schwarze Pünktchen, und bringe denselben in die passende Sehweite und betrachte ihn abwechselnd mit passender und sehr unpassender Accommodation, so werden die Punkte abwechselnd zum Vorschein kommen und schwinden. Ein Kurzsichtiger betrachte in großer Entfernung ein weißes, dunkelroth gestreiftes Zeug, so sieht er es einsarbig rosenroth.



Durchaus dieselben Erscheinungen haben wir bei Stumpfsichtigkeit. Wenn wir unfähig sind, überaus kleine Theilchen eines Körpers, den wir betrachten, zu unterscheiden, so kann dies nicht darauf beruhen, daß die Nervenpunkte, auf welche die Bilder jener Theilchen fallen, nicht empfinden, denn dann würde man den Körper, der ja aus lauter solchen kleinsten Theilchen besteht, überhaupt gar nicht sehen, sondern es beruht darauf, daß gewisse neben einander liegende und feine Nervenpunkte, statt gesondert zu empfinden, ihre Empfindungen confundiren. In Uebereinstimmung mit dieser Ansicht ist es, daß wir beim Zusammenreiben eines weißen und dunkelrothen Pulvers eine Mischung erhalten, welche auch bei vollkommenster Accommodation des Auges und in gehöriger Nähe rosenroth erscheint.

Die Erscheinungen des undeutlichen und des stumpfen Gesichtes sind so wenig verschieden, daß wir bei unserer Unfähigkeit, die kleinsten Theilchen der Gesichtsobjecte zu unterscheiden, durchaus nicht nachweisen können, in wie weit dieser Uebelstand auf Rechnung der brechenden Medien oder der Netzhaut komme. Huec schätzt die Scharfsichtigkeit nach der Befähigung des Auges bei passender Accommodation mehr oder weniger kleine Theile der Gesichtsobjecte zu unterscheiden, und scheint diese Befähigung nur von der Sensibilität der Netzhaut abzuleiten. Da indeß die Krystalllinse Lichtstrahlen, welche von einem leuchtenden Punkte ausgehen, nie in einem mathematischen Punkte vereinigt, so hängt der Mangel absoluter Scharfsichtigkeit nicht bloß von der Netzhaut, sondern auch von den brechenden Medien ab. Da ferner vorausgesetzt werden darf, daß die Krystalllinse je nach Verschiedenheiten der Form, das Licht mehr oder weniger vollkommen vereinige, so darf angenommen werden, daß die in sehr verschiedenem Grade entwickelte Fähigkeit, sehr kleine Theile zu erkennen, nicht bloß von Differenzen im Baue der Netzhaut, sondern auch von Verschiedenheiten der Linsengestalt und überhaupt der brechenden Medien abhängt.

Aus dem Gesagten ergibt sich, daß die Unterscheidung des deutlichen und scharfen Sehens mehr oder weniger willkürlich ist, womit nicht geleugnet werden soll, daß es seine Vortheile habe, das Wort Scharfsichtigkeit beizubehalten und damit die relative Fähigkeit des Auges zu bezeichnen, bei passender Accommodation Objecte von möglicher Kleinheit zu erkennen. Der Grad der Scharfsichtigkeit wird durch die Kleinheit des Gesichtswinkels gemessen, unter welchem wir Objecte wahrzunehmen im Stande sind. Der kleinste Gesichtswinkel, unter welchem wir sehen, ist von verschiedenen Beobachtern verschieden angegeben worden, was eines Theils auf individuelle Verschiedenheiten der Augen zu schieben ist, andererseits auf Beleuchtung und Gestalt der beobachteten Objecte.

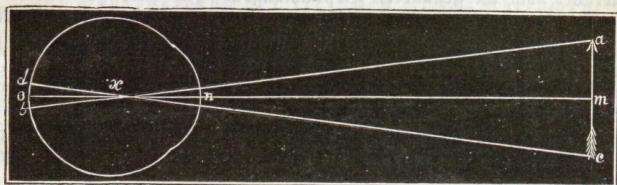
Die genauesten Untersuchungen über diesen Gegenstand verdanken wir Huec. Er betrachtete Gegenstände von verschiedener Gestalt und Farbe in verschiedenen Entfernungen und bemerkte, in welchem Abstände vom Auge dieselben für das Gesicht verschwanden. Hieraus ließ sich der kleinste Gesichtswinkel, unter welchem die Objecte wahrnehmbar waren, berechnen. Das Resultat seiner Beobachtungen ist folgendes: 1) Ein normales Auge, welches sich allen Entfernungen anpassen kann, sieht kleine Objecte, gleichviel ob nah oder fern, unter gleichem Gesichtswinkel verschwinden. 2) Einen Strich sieht man weiter als einen Punkt, auch wenn beide gleiche Durchmesser haben. 3) Weiße Objecte auf schwarzem Grunde sieht man weiter, als schwarze Objecte auf weißem. 4) Bei größern Entfernungen nimmt der zum Erkennen der Gegenstände erforderliche Sehwinkel allmählig etwas zu.



5) Der kleinste Sehwinkel, unter welchem weiße Punkte auf schwarzem Grunde sichtbar waren, betrug  $2,6''$ , dagegen für weiße Striche auf demselben Grunde  $1,2''$ . Einen Spinnenfaden erkannte Hueck selbst unter einem Winkel von  $0,6''$  und einen glänzenden Drath unter  $0,2''$ . —

Eine etwas deutlichere Vorstellung von der Feinheit der Gesichtsempfindung bekommt man, wenn man die Diameter der kleinsten wahrnehmbaren Netzhautbildchen in Betracht zieht. Kennt man nämlich die Lage des Kreuzungspunktes  $x$  (Fig. 22.), in welchem sich die Richtungslinien  $ab$  und  $cd$  des Objectes  $ac$  schneiden, so ist dieser Diameter leicht zu berechnen.

Fig. 22.



Denn wenn  $ac$  normal zur Augenaxe steht, so sind die Dreiecke  $axc$  und  $dx b$  sich ähnlich und es verhält sich  $ac : db = mx : ox$ , folglich  $\frac{ac \times ox}{mx} = db$  <sup>1)</sup>. Hiernach hatte das Netzhautbildchen eines  $0,002''$

dicken Haares, welches ich auf  $30''$  Weite erkannte, einen Durchmesser von  $0,000033''$  <sup>2)</sup>. Wenn aber ein Schüler von Vär's ein Haar von  $\frac{1}{60}'''$  Dicke in einer Entfernung von  $28'$  noch wahrzunehmen im Stande war, so betrug, abstrahirt von der Verbreiterung des Netzhautbildchens durch Lichtzerstreuung, der Durchmesser von diesem nur  $0,0000021''$ . Dergleichen Berechnungen dürfen indeß nicht benutzt werden, um auf das Maass der kleinsten Netzhautstellen zu schließen, welche zur Herstellung einer Gesichtsempfindung geeignet sind. Es ist einerseits wahrscheinlich, daß in Folge von Lichtzerstreuung die Netzhautbildchen größer ausfallen, als die Berechnung angiebt, andererseits denkbar, daß überaus kleine Netzhautbildchen nur in Folge einer Irradiation des Reizes, über eine relativ weit größere Stelle der Netzhaut zur Wahrnehmung kommen.

Daß einer von den genannten beiden Umständen wirklich Statt finde, scheint folgendes Experiment zu beweisen. Ich spannte zwei Spinnwebfäden in paralleler Richtung und in einer Distanz von  $0,0052''$  neben einander auf, und fand, daß ich dieselben auf  $7''$  Entfernung als doppelt erkennen konnte, aber nicht weiter. Der scharfsichtigste unter meinen Freunden erkannte die Duplicität auf  $13''$  Entfernung. Berechnet man aus diesen Werthen die Distanz der Netzhautbildchen, so betrug sie für mein kurzsichtiges Auge  $0,00037''$ , für das scharfsichtige meines Freundes  $0,00021''$ . Zwei schwarze Parallellinien auf weißem Grunde, welche sich in einer gegenseitigen Distanz von  $0,016''$  befinden, erkenne ich mit Hilfe der Brille

<sup>1)</sup> Aus einem frühern Abschnitte ergibt sich der Werth von  $ox = 6,13'''$  und  $mx = 3,97''' + E$ , wenn  $E$  die Entfernung des Objectes vom Auge bedeutet.

<sup>2)</sup> In meinen Beiträgen habe ich den Durchmesser noch kleiner angegeben, was darauf beruht, daß ich damals den Werth von  $ox$  geringer annahm.



in einer Entfernung von 27". In diesem Falle ist die Distanz der Netzhautbildchen  $= 0,00029''$ . Demnach war der Diameter der kleinsten wahrnehmbaren Distanz für mein Auge gegen zehnmal größer, als der Diameter des kleinsten noch wahrnehmbaren Netzhautbildchens. Ich bin geneigt, hieraus zu schließen, daß der Focus, den mein Auge bei passender Sehweite bildet, einen Durchmesser von ungefähr  $0,00029''$  hat, und daß ich gerade deshalb nichts unter sehr kleinen Gesichtswinkeln sehe, weil das Licht unter allen Umständen eine zu große Zerstreuung erfährt.

Es ist allgemein bekannt, daß in den seitlichen Theilen des Gesichtsfeldes des ungleich weniger genau gesehen wird, als in den mittleren, indeß fehlt es hierüber noch an genaueren Bestimmungen. Ich habe zur Ermittlung dieses Verhältnisses mit meinem Assistenten Herrn Hüttenheim eine Reihe von Beobachtungen in der Weise angestellt, daß ich versuchte, wie weit ein Object zur Seite der optischen Ase vom Auge entfernt werden durfte, ehe es für die Wahrnehmung ganz verloren ging. Wir benutzten runde schwarze Punkte auf weißem Papiere, markirten bei indirectem Sehen das Maximum der Entfernung, in welcher sie sichtbar waren, und berechneten für jeden Fall die Größe des Netzhautbildchens. Das Nähere ergibt sich aus der Tabelle.

Tabelle

über den Durchmesser der kleinsten Bilder, welche von verschiedenen Theilen der Netzhaut noch wahrgenommen werden können.

Winkelabstand des Objectes von der optischen Ase nach innen.	Durchmesser der Bilder in Par. Zoll.		Durchmesser des fixirten Punktes.
	im Auge von B.	im Auge von H.	
0°	0,000097	0,000122	0,0142
1°	0,000176	0,000181	—
2°	0,000201	0,000206	—
3°	0,000225	0,000256	—
4°	0,000265	0,000297	—
5°	0,000309	0,000353	—
6°	0,000353	0,000381	—
7°	0,000371	0,000437	—
10°	0,000530		—
15°	0,000875		—
20°	0,001238		—
25°	0,002127	0,003190	0,0366
30°	0,004358	0,004358	0,0500
35°	0,006276	0,005579	0,0962
40°	0,007181	0,006700	—
45°	0,008374	0,008374	—
50°	0,011166	0,011166	—
55°	0,014357	0,012562	—
60°	0,016750	0,016750	—



Wir wiederholen den Versuch mit einem in senkrechter Richtung aufgespannten Spinnwebfaden von 0,00127" Durchmesser. Die gewonnenen Resultate stimmen in sofern mit den vorhergehenden, als sie die viel geringere Schärfe des Sehens in den Seitentheilen der Netzhaut ausweisen. Dagegen fallen die kleinsten Bilder durchschnittlich zehnmal kleiner aus, was zu Hueck's Bemerkung paßt, daß man eine Linie viel weiter sieht, als einen Punkt von gleichem Durchmesser.

T a b e l l e  
zur Beurtheilung der kleinsten Netzhautbildchen.

Winkelabstand des Spinnwebfadens von der optischen Axc.	Größe der kleinsten Netzhautbilde in Par. Zollen.	
	im Auge von B.	im Auge von H.
0°	0,0000128	0,0000133
1°	0,0000163	0,0000165
2°	0,0000169	0,0000203
3°	0,0000177	0,0000228
4°	0,0000179	0,0000241
5°	0,0000183	0,0000269
6°	0,0000215	0,0000274
7°	0,0000228	0,0000290
8°	0,0000236	
10°	0,0000333	0,0000333
15°	0,0000407	0,0000610

Obgleich Zahlen, wie die hier mitgetheilten, im Einzelnen keine große Zuverlässigkeit haben, so besitzen sie doch in ihrem Zusammenhange eine unverkennbare Beweisraft. Die Schärfe des Sehens nimmt von der optischen Axc nach außen stetig ab, und merkwürdig genug im ersten Grade in schnellster Progression. 60° nach außen von der optischen Axc (das »außen« auf die Netzhaut bezogen), hat die Schärfe des Gesichtes etwa um das 150fache abgenommen. Es fragt sich, ist die Stumpfsheit des Gesichtes in den Seitentheilen des Sehfeldes ein Mangel unseres Auges? Ich glaube das Gegentheil. Indem das Centrum der Netzhaut sehr viel feiner empfindet, als alle übrigen Punkte derselben, gewöhnt sich das Auge an das Fixiren der Objecte. Aus dieser Gewohnheit entwickelt sich aber für das Individuum ein unermesslicher Vortheil, die Erkenntniß der Richtung der Objecte, wovon unten ausführlicher.

Ich habe auch untersucht, wie sich die Seitentheile der Netzhaut in Bezug auf die Wahrnehmung von Distanzen verhalten. Nach dem Vorausgesagten wird die folgende Tabelle ohne weitere Erörterungen verständlich sein.



Winkelabstand des Objectes von der Sehare nach innen.	Distanz der beobachteten Parallellinien in Zollen.	Entfernung, in welcher die Duplicität der Linien erkennbar war.	Berechnete Entfernung der Netzhautbilder der Parallellinien.
0°	0,016	27"	0,00029"
1°	0,040	37"	0,00055"
2°	0,040	22"	0,00091"
3°	0,040	14"	0,00141"
4°	0,040	13"	0,00153"
5°	0,040	11"	0,00180"
6°	0,040	5"	0,00383"
7°	0,04	5"	0,01527"
8°	0,33	5"	0,03186"

Ein Resultat, welches sich aus Vergleichung der letzten Tabelle mit der ersten ergibt, scheint mir bemerkenswerth. Die Stumpfsheit des Gesichtes in den Seitentheilen des Gesichtsfeldes nimmt rascher zu, wenn es sich um Distinction von Distanzen handelt, als wenn es nur darauf ankommt, einen einfachen Lichteindruck wahrzunehmen. Ist letzteres die Aufgabe, so verhält sich die Scharfsichtigkeit in der Sehare zu der unter 20° nach außen fast wie 10 : 1, bei Unterscheidung zweier Punkte verhält sie sich in derselben Stelle fast wie 100 : 1. — Die unverhältnißmäßig schnelle Abnahme des Distinctionsvermögens, in den seitlichen Theilen des Gesichtsfeldes, beruht im Wesentlichen wohl auf optischen Gründen, und nicht auf einer Verminderung des Empfindungsvermögens. Aus der Theorie der Linsengläser ist bekannt, daß Lichtstrahlen um so weniger vollkommen gesammelt werden, je größer der Winkelabstand des leuchtenden Punktes von der Ase der Linse ist. Das gesammelte Licht bildet dann statt eines optischen Punktes eine Scheibe, und zwei Punkte, deren Bilder im Centrum der Netzhaut neben einander liegen, werden auf den seitlichen Theilen der Netzhaut mit ihren Lichtscheiben in einander greifen. Hierzu kommt noch, daß der Kreuzungspunkt der Richtungslinien (genauer Listing's Knotenpunkte) nicht im Centrum der Netzhautkrümmung liegen, sondern mehr nach vorn. Da nun die Netzhaut die Focalebene ist, auf welcher das Licht gesammelt werden soll, so ergibt sich von selbst, daß wenn ihr Axenpunkt sich in der passenden Entfernung von der Linse befindet, ihre mehr seitlich gelegenen Theile in unpassender Entfernung, nämlich den brechenden Medien zu nah liegen. Betrachtet man die Netzhautbilder einer angezündeten Kerze in dem präparirten Auge eines weißen Kaninchens, so überzeugt man sich sogleich, daß sie in den Seitentheilen des Auges beträchtlich an Schärfe verlieren.

Es entsteht nun die Frage, wie sich die kleinsten Bilder, welche wir wahrzunehmen befähigt sind, zu den Elementen der Netzhaut verhalten. Bezüglich des Unterscheidens zweier Gesichtseindrücke darauf, daß zwei verschiedene Fasern getroffen werden, und kann Eine Nervenfaser gleichzeitig nur Eine Empfindung wecken? Schon im Artikel »Nervenphysiologie« habe ich die Gründe angegeben, welche gegen diese Hypothese sprechen, im gegenwärtigen beschränke ich mich auf wenige Nachträge. Oben wurde gezeigt, daß jede Nervenfaser durchschnittlich ein Stück Netzhaut deckt, welches 600mal



größer ist, als ihre Durchschnittsfläche <sup>1)</sup>. Nicht nur in der Are des Auges, sondern bis  $20^\circ$  zur Seite derselben, sind die kleinsten wahrnehmbaren Distanzen um ein Ansehnliches kleiner als die Netzhautelemente. Es ist also das, was ich früher als höchst wahrscheinlich vortrug, wohl ganz unzweifelhaft: es müssen die Bilder der engsten Parallellinien, welche wir unterscheiden, an vielen Stellen auf eine und dieselbe Faser fallen, d. h. also von Einer Faser als doppelt empfunden werden. Die kleinsten Distanzen, welche ich im Brennpunkte des Auges erkenne, sind gegen 300mal kleiner als die durchschnittliche Länge eines Netzhautelementes. Sollten nun zwei gleichzeitige Empfindungen demungeachtet die Thätigkeit zweier gesonderter Fasern erheischen, so müßten die constituirenden Elemente der Netzhaut sich in der Are um das 300fache verkleinern, <sup>1°</sup> seitlich von der Are etwa um das 150fache u. s. w., eine Verkleinerung, welche ohne entsprechende Vergrößerung anderer Elemente undenkbar ist, und welche demnach das Distinctionsvermögen in einem Punkte der Netzhaut nur erklärt, um es in einem andern Punkte um so unbegreiflicher zu machen.

Ein um die Physiologie des Gesichtssinnes hochverdienter Physiolog versicherte mich, daß er dieser Beweisführung nichts entgegenzusetzen wüßte, als etwa das Bedenken, daß das Erkennen der Duplicität der Parallellinien mit Hilfe kleiner Augenbewegungen gewonnen werde. Freilich, wenn das Auge bei Betrachtung der Parallellinien geeignete Bewegungen machte, so könnten zwei verschiedenen Punkten derselben auch differente Nerven-elemente untergeschoben werden, und die Anschauung der Doppellinie könnte eben so gut das Product zahlreicher, in der Zeitfolge gewonnener Eindrücke sein, als der Gesamteindruck eines Gemäldes, z. B. ganz unleugbar das Collectivum sehr vieler Empfindungen ist, welche nur mit Hilfe der Augenbewegungen gewonnen wurden. Um diesen Einwurf näher zu prüfen, beschloß ich, zwei Parallellinien in einem so kurzen Zeitraume zu betrachten, daß die Ausführung von Augenbewegungen durchaus unmöglich wäre. Zwei schwarze Linien in einer gegenseitigen Distanz von  $0,15''$ , auf weißes Papier gezogen, wurden in  $9''$  Entfernung vor dem Auge angebracht. Das Zimmer war vollkommen verfinstert und wurde nur durch die Entladung einer Leydener Flasche momentan erleuchtet. Bei mehren Entladungen erkannte ich die Linien nicht, unstreitig weil die Augen dem Object gegenüber eine falsche Richtung hatten, in Einem Versuche aber wurde die Duplicität der Linien anschaulich. Zwei andere Linien, von  $0,5''$  Distanz, erkannte ich in einer ansehnlichen Strecke ihres Verlaufes zu wiederholten Malen als doppelt. Da nun nach *Wheatstone's* Entdeckung der elektrische Funken noch nicht ganz  $0,000001$  Secunde dauert, die kleinste Augenbewegung dagegen ungefähr  $0,3$  Secunde in Anspruch nimmt, so ist das erwähnte Bedenken auf das vollständigste beseitigt <sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> In dem Artikel Nervenphysiologie (II. S. 569) steht fälschlich 50mal. Ich hatte beim Niederschreiben jenes Aufsatzes hypothetisch ein Minimum angenommen.

<sup>2)</sup> Die Benutzung des elektrischen Funkens zur Beleuchtung ist vielleicht das beste Mittel, sich über die Kraft des indirecten Sehens zu unterrichten. Herr Professor Marschand, welcher die Gefälligkeit hatte, mich bei diesen Versuchen zu unterstützen, legte mir Theaterzettel vor, welche ich nicht kannte. Ich war im Stande, die sehr groß gedruckten Worte: Zauberslöte, Gottsched u. s. w. mit einem Blicke zu lesen, aber ich erkannte auch das Wort Verlangen, welches mit Buchstaben von etwa  $2''$  Höhe gedruckt war. Es ist mir sehr wahrscheinlich, daß ich ein Portrait von mäßiger Größe auch erkennen würde.



Wäre jede Faser nur einer Empfindung fähig, so besäße die Netzhaut nicht mehr empfindende Elemente als der Sehnerv und dürfte sich auch nicht größer empfinden als dieser. Nun empfinden wir aber den Sehnerven bei rascher Wendung des Auges nach außen, als eine, im Verhältniß zum übrigen Sehfelde kleine Scheibe. Mir scheint diese Erfahrung entscheidend. In der Netzhaut findet eine Multiplication nicht nur der Punkte statt, die dem Lichte exponirt werden, sondern auch der Punkte, welche im Zustande des Reizes räumlich gesonderte Empfindungen veranlassen <sup>1)</sup>.

### E. Von der Wahrnehmung der GröÙe.

Ich habe schon oben erklärt, daß ich auch die Größenwahrnehmungen für durchaus subjectiv, d. h. für ein Derartiges halte, wobei die Beschaffenheit des Empfindenen und des die Empfindung Vermittelnden nicht nur nicht gleich, sondern nicht einmal vergleichbar sind. Nach Joh. Müller's Darstellung würde dagegen eine Vergleichung der objectiven und subjectiven GröÙe allerdings möglich sein. Dieser scharfsinnige Forscher geht von dem Grundsatz aus, daß die Empfindung in der Apercception der afficirten eignen Leiblichkeit beruhe. Ein Sinnesorgan, welches in der Form der Räumlichkeit empfindet, erkennt sich beim Empfinden in seiner wahren GröÙe. Die Hand, welche wir auf eine Fläche drücken, empfindet sich in ihrer wahren GröÙe, und so erhält das Tactbild, wenn dieser Ausdruck erlaubt ist, objective Gültigkeit. Was sich beim Tasten mit der Hand deckt, wäre nach dieser Anschauungsweise eine Hand groß. In gleicher Weise soll sich nun die Netzhaut in ihrer wahren GröÙe empfinden, und da die Bilder der Dinge kleiner sind, als die Dinge selbst, so empfinden wir alle Dinge mit dem Auge zu klein.

Die Basis dieser Betrachtung ist die Annahme, daß die empfindende Fläche selbst in ihrer wahren GröÙe erkannt werde. Schon in meinen Beiträgen (S. 49) habe ich dieser Annahme Zweifel entgegengesetzt. — Weber fand, daß verschiedene Stellen der Haut in sehr verschiedenem MaaÙe die Fähigkeit besitzen, zwei betastete Zirkelspitzen gesondert zu empfinden. Soll die Haut des Rückens zwei Zirkelspitzen als zwei empfinden, so muß die Distanz derselben 30'' betragen, für den mittleren Theil des Armes bedarf es zur Unterscheidung der Duplicität nur 12'', für die Fingerspitze 1''. Wenn man einen Zirkel, dessen Spitzen 1'' weit von einander entfernt sind, auf die Fingerspitze aufsetzt und mit demselben über die Hand und den Arm fortschreitet, als wenn man Punkte in der Entfernung eines Zolles abstechen wollte, so scheinen die Zirkelspitzen immer näher aneinander zu rücken, je mehr sich der Zirkel der Schulter nähert, und es kommt eine Hautstelle, wo die Distanz nicht größer empfunden wird, als die Distanz einer Linie an der Spitze des Fingers. Diese Stelle liegt aber da, wo die Distanz eines Zolles die kleinste ist, welche der Tactsinu noch wahrnimmt.

Die Haut schätzt also die GröÙe der Objecte so, daß sie die GröÙe der letzten ihr wahrnehmbaren Distanz als MaaÙeinheit wahrnimmt. Nennen wir diese MaaÙeinheit  $x$ , so ist die GröÙe eines Zolles für die Fingerspitze  $= 12x$ , für den Oberarm aber  $1x$ , denn jede Stelle der Haut giebt ei-

<sup>1)</sup> Dieselbe Erfahrung scheint mir ein sehr entscheidender Beweis, daß die Empfindungen nicht nothwendig auf das Ende der Nerven verlegt werden. Die Eintrittsstelle des Nerven wird gezerrt, und hier entsteht die Empfindung.

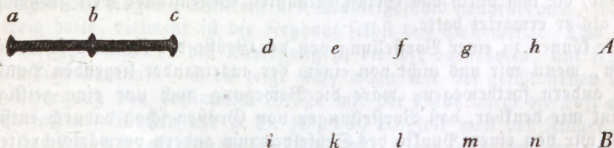


nem betasteten Objecte so viel mal die Größe  $x$ , als sie Stellen enthält, welche zu einer räumlich gesonderten Empfindung befähigt sind.

Ehe wir zur Anwendung dieser Sätze auf das Gesichtsgorgan fortschreiten, ist ein Einwurf zu berücksichtigen, welchen Joh. Müller gegen jene Auffassungsweise erhoben hat. Müller bemerkt, daß zu Folge jener Theorie der Ellenbogen die ihn berührende Fingerspitze kleiner fühlen müßte, als die Fingerspitze den Ellenbogen, und da dies nicht der Fall sei, so beruhe die Unfähigkeit gewisser Hautstellen, distante Zirkelspitzen in ihrer Duplicität zu erkennen, mehr auf einer Vermischung der Gefühle, als auf Täuschung über die Größe der Distanz. Müller erinnert dabei an die Zerstreuungskreise bei fehlerhafter Accommodation, in Folge welcher zwei afficirte Nervenpunkte sich zu einer gemeinsamen Empfindung verbinden, ohne daß die Größe des mit Zerstreuungskreisen gesehenen Gegenstandes hierunter leide.

Indeß haben verschiedene Hauptpartien wirklich verschiedene Größempfindung. Wenn man Stäbchen von verschiedener Dicke quer durchsägt und die Durchschnittsflächen auf verschiedene Stellen der Haut aufsetzt, so findet sich, was nach Weber's Versuchen erwartet werden mußte, daß einige Stellen weit mehr geeignet sind, geringe Größen wahrzunehmen als andere. Während die Durchschnittsfläche eines Bleistiftes von  $1\frac{1}{2}$  Linien Dicke von der Fingerspitze deutlich als eine Fläche wahrgenommen wird, können die Hauptpartien des Oberarmes eine zehnmal größere Fläche nicht wahrnehmen, sondern empfinden dieselbe ungefähr wie eine stumpfe Spitze. Wenn, wie Müller angiebt, der Ellenbogen die ihn berührende Fingerspitze nicht kleiner fühlt, als die Fingerspitze ihn fühlt, so liegt dies theils an der bekannten Schwierigkeit, zwei zusammenfallende Empfindungen mit Schärfe aufzufassen, theils aber daran, daß die wahre Empfindung durch ein falsches Raisonnement verdrängt wird. Wir sagen uns, daß die berührende Stelle nicht kleiner sein könne, als die berührte, und finden in der höchst unbestimmten Empfindung des Ellenbogens das wieder, was wir verstandesmäßig hineintragen.

Ich glaube übrigens auf ein Mittel gefallen zu sein, die Richtigkeit der von mir aufgestellten Ansicht direct zu beweisen. Zufolge der oben gegebenen Auseinanderlegung hängt die gesehene Größe von der Zahl der distinct empfindenden Nervenpunkte ab; ist dies richtig, so muß die empfundene Größe eine Verkleinerung erfahren, wenn man die Zahl der empfindenden Punkte vermindert. Dies geschieht nun wirklich in folgendem Versuche:



Man betrachte, während das rechte Auge geschlossen ist, die Linie *abc* mit dem linken Auge und bewege dieses ganz langsam in einer horizontalen Richtung gegen *A* hin, wobei man die zwischen *c* und *A* liegenden Punkte zu Augenmerk nehmen nimmt. Der Zweck des Experimentes ist der, das Bild der Linie über die Eintrittsstelle der Arteria centr. retinae hinwegzuführen, wo eine Anzahl empfindender Punkte wirklich in Wegfall kommt. Nun zeigt sich in der That, daß bei Ausführung jener horizontalen Augenbewegung,



die Linie Veränderungen in ihrer Größe erfährt. Ist die Augenaxe auf einen gewissen Punkt zwischen  $c$  und  $A$  gerichtet, so erscheint die Linie  $abc$  sehr viel kleiner. Diese Verkleinerung ist nicht etwa eine Täuschung, dadurch veranlaßt, daß das Linienbild auf die Seitentheile der Netzhaut rückt, wo die Empfindung bedeutend an Schärfe verliert. Man braucht nur statt des Punktes zwischen  $c$  und  $A$ , bei dessen Fixation die Verkleinerung eingetreten ist, den entsprechenden tiefer liegenden Punkt zwischen  $i$  und  $B$  in's Auge zu fassen, so erscheint die Linie wieder in ihrer ursprünglichen Größe, und doch liegt das Bild derselben hier eben so weit von der Sehaxe, als in dem Falle, wo es klein erscheint. — Ich habe diese Beobachtung ausführlich mitgetheilt, weil sie den Vortheil besonderer Evidenz hat, doch dürfte die Erfahrung, daß in den Seitentheilen des Sehfeldes ein Punkt verschwindet, welcher im Centrum desselben sehr groß erscheint, dasselbe beweisen. Für wissenschaftliche Augenärzte wäre eine interessante Frage, ob mit schnell überhand nehmender Amblyopie vielleicht ein merkliches Kleinerwerden der Objecte eintrete.

Wenn nun der oben aufgestellte Satz wahr bleibt, daß eine empfindende Fläche die Größe der letzten ihr wahrnehmbaren Distanz als Maaßeinheit bei Größenschätzungen der Objecte annimmt, oder was dasselbe ist, daß sie die Größe des Objectes nach der Anzahl ihrer distinct empfindenden Punkte abschätzt, so ist es wichtig, daß die kleinste wahrnehmbare Distanz für das Auge einige hundert Mal geringer ist, als für das Tastorgan. In gleich großen Flächen der Haut und Retina enthält letztere über 100,000mal mehr discret empfindende Punkte als erstere. Obgleich also die Bilder der Gegenstände auf der Netzhaut in verkleinertem Maaßstabe ausgeführt sind, so läßt sich doch nicht sagen, daß das Auge die Gegenstände kleiner sehe, als die Hand sie fühle. Im Vergleiche zur Haut wirkt die Netzhaut als physiologisches Mikroskop, indem sie die Größe des aufgenommenen Bildes mit der Masse ihrer discret empfindenden Punkte multiplicirt. Wäre die Maaßeinheit, nach welcher die Seele die Größen schätzt, für Objecte des Getastetes und Gesichtes dieselbe, so müßten wir nothwendig die Gegenstände weit größer sehen, als wir sie fühlen. Die Identität der Maaßeinheit ist nicht erweislich, doch wird sie durch die scheinbare Harmonie der Größenanschauungen, welche von beiden Sinnen ausgehen, auch nicht widerlegt. Die Uebereinstimmung könnte eine durch Erfahrung gewonnene sein. Interessant ist in diesem Bezuge, daß der operirte Blindgeborne des Dr. Franz überrascht war, die ihm durch das Getast bekannten Gegenstände weit größer zu finden, als er erwartet hatte.

Wir können zu einer Vorstellung von der Größe des Raumes schwerlich gelangen, wenn wir uns nicht von einem der auseinander liegenden Punkte zu dem andern fortbewegen, wäre die Bewegung auch nur eine geistige. Es scheint mir denkbar, daß Vorstellungen von Größen schon dadurch entstehen, daß wir von einem Punkte des Sehfeldes zum andern vorwärtsschreiten, und, indem wir den in Gedanken zurückgelegten Weg messen, eine Größenanschauung gewinnen, die zunächst dem Bilde auf der Netzhaut und erst secundär und durch Objectivirung desselben dem Gegenstande gilt, von dem es herrührt. Es scheint mir indeß, daß dieser Weg, zu Größenanschauungen zu gelangen, eine geistige Kraft erfordern würde, welche der rohe Mensch, oder mindestens das Thier, gewiß nicht besitzt, und es muß, wenn dies richtig ist, noch einen bequemeren Weg geben, zur Vorstellung der Größe zu kommen. Dieser bequemere Weg besteht darin, daß wir eine wirkliche Be-



wegung direct empfinden, denn mit der empfundenen GröÙe der Bewegung ist die GröÙe des durchmessenen Raumes von selbst gegeben.

Man bemerke, daß sich hier zur Entwicklung des Vorstellungslebens nochmals ein doppelter Weg eröffnet. Wir empfinden die Bewegung entweder, indem sich das Object bewegt, wo dann das Bild durch das ruhende Sehfeld hindurchwandert, oder wir fühlen, so zu sagen, die Lastbewegung des Auges, welches, um einen mechanischen aber anschaulichen Ausdruck zu brauchen, seine führende Fläche in einer gewissen Ausdehnung am Gegenstande reibt. Ich glaube, diese doppelte Möglichkeit, Bewegungen und vermittlest dieser Größenvorstellungen aufzufassen, um so mehr hervorheben zu müssen, als einige geschätzte Schriftsteller die Größenanschauungen des Auges einseitig aus den Muskelideen ableiten, als wenn die uns bewußte Muskelbewegung das einzige Mittel wäre, zur Anschauung der GröÙe hindurchzubringen. Dem entgegen muß ich behaupten, daß auch ein unbewegliches Auge, eines der Bewegung unfähigen Thieres, bei Bewegung der Objecte zur Vorstellung der Bewegung und durch diese zur Vorstellung der GröÙe gelangen würde, ja ich behaupte sogar, daß ein Auge, unter denselben ungünstigen Verhältnissen, in einer absolut ruhenden Welt für den menschlichen Geist der Vermittler von Größenvorstellungen sein würde, indem, wie schon oben bemerkt, dann immer noch eine geistige Bewegung übrig bliebe, mit welcher das Ich das ruhende Netzhautbild von einem Endpunkte zum andern durchwanderte.

Das gewöhnlichste und das leichteste Mittel, zu Größenanschauungen zu gelangen, ist indeß allerdings dies, daß wir die GröÙe der Augenbewegungen empfinden, wenn wir den Blick über die ganze Dimension eines Gegenstandes hinstreichen lassen. Wir empfinden direct die GröÙe dieser Bewegung und schätzen nach ihr die GröÙe des Gegenstandes, weshalb wir auch bei genauen Größmessungen, oder bei Halbierung eines Gegenstandes nach dem Augenmaße, wiederholt von einem Endpunkte desselben zum andern und wieder zurück blicken. Huec hat durch sehr intercessante Versuche erwiesen, wie außerordentlich kleine Bewegungen des Auges wir noch wahrnehmen, Bewegungen, bei welchen sich der Muskel bisweilen nur um  $\frac{1}{6000}$  seiner Länge verkürzt. So bemerken wir eine Bewegung des obern oder untern geraden Augenmuskels, bei welcher das Netzhautbildchen nur um  $\frac{1}{200}$  Linie seine Stellung verändert.

Huec nimmt, wie früher Steinbuch, an, daß wir diese feinen Bewegungen des Auges vermittlest des Muskelgefühls wahrnehmen, was ich für irrig halte, vielmehr ist die Netzhaut selbst das Hodometer. Das Muskelgefühl giebt uns von den Bewegungen, die wir vornehmen, nur sehr unvollständige Auskunft. Dies zeigt sich, wenn wir bei geschlossenen Augen eine Bewegung von bestimmter GröÙe mit der Hand durch die Luft auszuführen suchen. Wollen wir z. B. 10, 15, 20 Zoll weit den Finger bewegen, so irren wir oft um ein Ansehnliches. Wenn wir dagegen mit dem Finger auf einer rauhen Oberfläche hinstreichen, so entspricht die Bewegung ungleich genauer der beabsichtigten GröÙe. Es ist klar, wir haben die Bewegung an der empfindenden Tastfläche abgemessen, und eben weil die Netzhaut unendlich kleine Distanzen wahrnimmt, bemerken wir eine Augenbewegung, vermittlest welcher der erste Fixationspunkt auch nur um ein Minimum neben die Sehare tritt, um einem zweiten Fixationspunkte Raum zu geben.

Bei diesen Sehbewegungen, um mich so auszudrücken, bestimmt die GröÙe des Gesichtswinkels natürlich die GröÙe der Empfindung, weil er die



Größe des Netzhautbogens bestimmt, über welchen der leuchtende Punkt hinstreift. Objecte, welche unter gleichen Gesichtswinkeln liegen, sind für die Empfindung gleich groß, obschon sie in der Wirklichkeit von überaus verschiedener Größe sein können. Wenn wir nun dennoch die Fähigkeit besitzen, die Größenverschiedenheiten solcher Objecte, die unter gleichen Gesichtswinkeln liegen, wahrzunehmen, so beruht dies auf einer im Voraus gewonnenen Kenntniß von der Entfernung der Objecte, eine Kenntniß, die auf dem Wege der Berechnung, nicht der Empfindung, uns über die Größe der Gegenstände Aufschluß giebt.

Erlauben wir uns einen Rückblick auf die Untersuchung über Größenswahrnehmung, so ergibt sich, daß diese zwar ein Product der reinen Empfindung sein kann, gewöhnlich aber nicht ist, daß vielmehr die meisten und klarsten Vorstellungen über die Größe der Dinge auf complicirterem Wege unter Mitwirkung der Muskelthätigkeit gewonnen werden.

## V. Von den vermittelten Gesichtsempfindungen.

### A. Von der Richtung der Gesichtsobjecte.

Die Lehre von der Richtung des Sehens bietet noch immer das Schauspiel großer Verwirrung. Obschon das empirische Material, welches hier in Frage kommt, vollständig und unbestritten vorliegt, so widersprechen sich doch die Schriftsteller in der Auffassung desselben immer von neuem, ein Beweis, daß die zu überwindenden Schwierigkeiten im Gebiete des Denkens liegen. Wie wir zur Erkenntniß der Richtung der Dinge kommen, ist nur zu zeigen, wenn die Entstehung der Raumvorstellungen im Voraus schon entwickelt ist.

Wir sehen ein Object in der Auffassungsform des Raumes, d. h. wir sehen die verschiedenen Punkte desselben als neben einander befindliche. Es ist oben gezeigt worden, wie der Grund hiervon organisch gegeben ist. Die Seele unterscheidet die Eindrücke, welche von verschiedenen Netzhauptpunkten ausgehen, auch wenn die Eindrücke qualitativ gleich sind, wie im Schattensfelde, sie unterscheidet die Eindrücke eben nur in der Form der Räumlichkeit. Um eine lästige Breite in der Darstellung zu vermeiden, wollen wir den Vorgang nicht jedesmal bis zur Seele zurückverfolgen, sondern uns den Ausdruck erlauben: wir sehen das Object räumlich, weil sich die empfindenden Netzhauptpunkte räumlich distinguiren. Diese Raumempfindung ist ein durchaus innerlicher Act, welcher uns von Hause aus nur über das räumliche Auseinandersein der Empfindungselemente, nicht über das der leuchtenden Punkte, als äußerer, Aufschluß giebt. Dies ist an sich klar und aus den bekanntesten Erfahrungen leicht abzuleiten. Ein kleiner Finger, welchen wir vor das Auge halten, verdeckt einen großen Thurm in der Entfernung, wenn beide unter gleichen Gesichtswinkeln liegen. Die objective Differenz in der Räumlichkeit beider geht verloren, in der subjectiven Identität des empfindenden Netzhautareals. Ein Gegenstand erscheint doppelt im Raume, wenn sein Licht auf differente Punkte fällt, und zwei wirklich gesonderte Dinge erscheinen einfach, also an Einem Orte, wenn sich die Bilder derselben auf identischen Netzhautstellen befinden. — Es fragt sich nun, sind die Raumanschauungen, welche den objectiven Verhältnissen nicht entsprechen, Lügen? Bestimmt nicht, aber nur aus dem Grunde nicht: weil uns die Empfin-



tung über die objective Räumlichkeit überhaupt gar nichts sagt. Die neuere Physiologie hat den subjectiven Boden der Sinnenthätigkeit im Allgemeinen ganz richtig gewürdigt, sie hat z. B. anerkannt, daß die Farben-Energien des Auges nicht Eigenschaften der Dinge sind, aber sie hat häufig vergessen, daß die Raumempfindung eben auch nur Energie ist. Für das Auge existirt kein Raum außer dem Gesichtsfelde, das Gesichtsfeld aber gehört zum empfindenden Subject, und nur zu diesem. Alle Theorien, welche dem Auge, oder auch der Seele, in wiefern sie auf das Sehorgan beschränkt ist, die Fähigkeit zuschreiben, die Gesichtsempfindung in irgend welcher Richtung nach außen (also in den gedachten Raum unserer Umgebung) zu versetzen, sind a priori unrichtig.

Porterfield stellt in seinem trefflichen Werke über das Auge die Meinung auf, der gereizte Netzhautpunkt setze seine Empfindung sich geradlinig gegenüber, und nur wenig verschieden hiervon war meine frühere Behauptung, daß jeder Netzhautpunkt seine Empfindung durch den Kreuzungspunkt der Richtungslinien geradlinig nach außen trage. Obgleich die letzte Ansicht sich von der absurden Consequenz frei hielt, daß das Auge die Gesichtsobjecte am falschen Orte sehe, so war sie doch in ihrem Fundamente eben so unhaltbar als die erste, denn das Auge trägt nun einmal seine Empfindungen nicht nach außen.

Der Hauptbeweis ist und bleibt der, daß ein solches nach außen setzen nicht Sache der Sinnethätigkeit ist, noch sein kann; doch läßt sich beiläufig empirisch verfolgen, wie weit meine frühere Theorie reicht und wo ihre Anwendbarkeit aufhört. — Wenn man eine Lichtflamme längere Zeit fixirt, bis ein Blendungsbild entstanden ist, und dann das Auge absichtlich hin und her bewegt, so folgt das Blendungsbild den Bewegungen desselben, es steigt nach oben, wenn man das Auge hebt u. s. w. Hier entspricht die Erfahrung dem Lehrsatze, denn wenn man das Auge nach oben richtet, dreht sich der Brennpunkt der Netzhaut nach unten; und wenn die Empfindung geradlinig durch den Kreuzungspunkt der Richtungslinien nach außen verlegt würde, so müßte freilich das Blendungsbild nach oben steigen <sup>1)</sup>. Setzt man aber die Beobachtung in der Weise fort, daß man mit der Fingerspitze den Augapfel am untern Augenlide nach oben drückt, so erfährt der Bulbus wiederum eine Rotation. Die Hornhaut wird merklich nach oben und folglich die Netzhaut nach unten gedreht. Wäre also wahr, daß die Retina ihre Empfindung auf die entgegengesetzte Seite versetzte, so müßte das Blendungsbild nach oben wandern, was nicht der Fall ist. Eine zweite hierher gehörige Erfahrung ist von Ruete beobachtet, aber in ihrer Bedeutung nicht richtig gewürdigt worden. Wenn man, wie vorher, das Blendungsbild einer Lichtflamme im Auge entstehen läßt und den Kopf seitlich nach der Schulter neigt, so folgt nicht nur das Blendungsbild der Bewegung des Hauptes, sondern nimmt auch eine schiefe Lage an. Da nun die *Mm. obliqui* bei jeder Seitenbewegung des Hauptes die Augen in ihrer ursprünglichen Stellung erhalten, so dürfte eine derartige Verlegung des Bildes nicht stattfinden. Ein schief liegendes Blendungsbild würde, der fraglichen Theorie gemäß, ein schief liegendes Netzhautbild voraussetzen, und ein solches ist nicht da.

So paradox es anfänglich klingen mag, so evident ist es nach den

<sup>1)</sup> Eben so passen, wie Ruete richtig bemerkt, die Erscheinungen der Doppelbilder im Scheiner'schen Versuch und die Art ihres Verschwindens beim Zuhalten des einen und des andern Kartenloches zu jener Lehre.



mitgetheilten Erfahrungen, die Umkehrung des Bildes, die nothwendig erfolgen muß, wenn wir aufrecht sehen sollen, was im Auge verkehrt sich darstellt, sie geht weder vom Auge aus, noch von der Seele, in wiefern diese auf den Gebrauch des Auges beschränkt ist.

Jo hannes Müller bemühte sich zu zeigen, daß eine derartige Umkehrung zur Auffassung des Aufrechten überhaupt nicht nothwendig sei. Er bemerkte, daß das Auge nicht bloß ein vereinzelt Object, sondern gleichzeitig alle seine Umgebungen umkehre, und daß, wo Alles verkehrt gesehen werde, dies gar nicht zum Bewußtsein kommen könne, da die Ordnung der Theile unverändert dieselbe bleibe. Ich bin früher auf diese Betrachtungsweise etwas zu bereitwillig eingegangen. Nach Jo h. Müller wäre die Stellung der Bilder im Auge absolut gleichgültig, so lange die Ordnung der Theile nur erhalten würde, dies ist richtig für das ungeübte Auge, falsch für das durch Erfahrung gebildete.

In der That sah der von Franz operirte Blinde bei seinen ersten Sehversuchen nichts verkehrt und konnte nichts verkehrt sehen, denn hier gilt die Müller'sche Behauptung in aller Strenge. Er würde eben so wenig die Dinge der Quere nach gesehen haben, wenn deren Bilder auf der Netzhaut eine Querlage gehabt hätten, denn das Auge trägt, wie ich bewiesen habe, seine Empfindungen nicht in umgekehrter Richtung nach außen, ja es trägt sie gar nicht nach außen. Als aber der Blinde, der mit schielendem linken Auge sehen gelernt hatte, durch eine zweite glückliche Operation vom Strabismus befreit worden war, sah er Alles zu weit nach rechts <sup>1)</sup>. Ich werde diese kostbare Erfahrung später erklären und jetzt mich auf den Schluß beschränken, daß für ein Individuum, welches über die Räumlichkeit der Dinge bereits durch andere Mittel als durch das Sehen Erfahrungen gewonnen hat, die Stellung des Netzhautbildes nicht gleichgültig ist. Hiermit in Uebereinstimmung sind auch andere Erfahrungen. Wenn man durch ein astronomisches Fernrohr sieht, erblickt man alles verkehrt, Beweis genug, daß die totale Inversion des Sehfeldes zum Aufrechtsehen nicht ausreicht. Ferner: wenn man eine lothrechte Linie an der Wand fixirt, und nun mit der Fingerspitze am äußern Augenwinkel den einen Bulbus nach oben drückt, so zerfällt die senkrechte in zwei Linien, deren eine geneigt ist. Es ist klar, daß diese Neigung von einer kleinen Axendrehung des gedrückten Auges abhängt, und daß ein Bild derselben sich vollständig umkehren würde, wenn man eine Rotation um 180° ausführen könnte.

Schließen wir hieraus, daß das Auge, welches sehen gelernt, eine bestimmte Stellung der Netzhautbilder in Anspruch nehme, und daß eine Disharmonie zwischen den Raumvorstellungen des Auges und des Getastetes sofort eintrete, wenn die Lagerung des Sehfeldes, bei welcher wir sehen lernen, eine Veränderung erfährt. Es besteht also ein Unterschied zwischen einem ungeübten und einem geübten Auge. Diese Thatsache ist festzuhalten, indem sie der unerlässliche Ausgangspunkt für unsere Untersuchung ist. Müller hat Recht, für ein ungeübtes Auge ist die Lage des Netzhautbildes, so lange nur die Ordnung sämmtlicher Theile erhalten wird, gleichgültig,

<sup>1)</sup> Vielleicht könnte man fragen, was das heißen solle? Offenbar dies: der Operirte suchte die Gegenstände, welche er bei ruhendem Auge am deutlichsten sah, statt gerade vor sich, rechts neben sich. Natürlich fand er sie nun nicht, und es bestand also eine Zeit lang ein Widerspruch zwischen den Raumvorstellungen (nicht Anschauungen!) des Auges und des Getastetes.



aber sie ist nur darum gleichgültig, weil der reine Sehact von der Richtung der Dinge weder Notiz nimmt noch nehmen kann. Eine Richtung, welche wir sehen, ist mehr nicht als Richtung im Sehfelde, hierbei fehlt nicht nur die Wahrnehmung der Tiefe, sondern auch die des Rechts und Links, des Oben und Unten. Alle Richtungen, welche wir mit derartigen Namen bezeichnen, beziehen sich auf Verhältnisse, welche gar nicht im Apercptionsvermögen des Auges liegen. So bezieht sich das Rechts auf die bei den meisten Menschen kräftigere Körperseite, das Unten und Oben auf das dem Centrum der Gravitation Zu- oder Abgewendete. Es ist klar, daß die Seele, wenn sie auf Gesichtsempfindungen beschränkt wäre, von allen diesen Beziehungen nichts erfahren würde. Erlangen wir gleichwohl Vorstellungen über die Richtung der Gesichtsobjecte in einem dem Sehfelde äußerlichen Raume, so können sie nur unter Mitwirkung anderer Organe als das Auge gewonnen werden.

Es läßt sich nachweisen, daß die Muskelgefühle und zwar vorzugsweise die der Augenmuskeln die Vermittler dieser Erkenntniß sind. Diese Behauptung findet ihre allgemeine Begründung darin, daß überhaupt alles Objectiviren unserer Empfindungen, d. h. alles Beziehen eines uns immanenten Zustandes auf ein außer uns befindliches Ding, durch die freiwillige uns bewußte Bewegung vermittelt wird. Ehe von Apercption der Richtung der Dinge die Rede sein kann, muß die Seele zur Erkenntniß gekommen sein, daß es ein Ding giebt, d. h. ein Etwas, welches dem Subjecte als Object gegenübersteht. Eben so müssen wir zur Vorstellung eines uns umgebenden Raumes gekommen sein, in welchen die Seele den Sehempfindungen, welche sie objectivirt, als Ding eine Stelle anweist. Auch diese Vorstellungen sind nur unter Mitwirkung bewusster Bewegungen gewinnbar. Ist endlich die Seele mit diesem Vorstellungsmaterial ausgerüstet, so ist leicht zu zeigen, wie wir durch eine Combination der Gesichtsempfindungen und Muskelgefühle dazukommen, die Richtung der Gesichtsobjecte in dem uns umgebenden Raume kennen zu lernen. Wir fühlen nämlich, wohin wir die Augen richten, und indem wir den Gegenstand nur dann sehen, wenn wir die Augen nach der entsprechenden Seite richten, so schließen wir, daß sich das Object, von welchem die Empfindung ausgeht, auf der Seite befinde, nach welcher wir uns wenden müssen, wenn die Empfindung entstehen soll. Und zwar wird das Erste, was wir auf diesem Wege lernen, eine ziemlich grobe Erkenntniß sein, welche sich nur auf die Richtung der vier Weltgegenden und auf das Oben und Unten bezieht, Raumvorstellungen, welche nicht einmal ein bewegliches Auge, sondern nur einen willkürlich beweglichen Körper voraussetzen. Man denke sich, der operirte Blinde stehe am Fenster und schaue in's Freie; wird man leugnen wollen, daß er auch ohne einen Richtungssinn der Hauth lernen werde, was vor und hinter ihm liegt, wenn er sich rückwärts wendend jedesmal die vier Wände, dagegen nach vorwärts gerichtet, jedesmal die Landschaft sieht? Die ersten rohen Erfahrungen über die Richtung der Dinge, welche schon durch die Bewegung des Hauptes, ja des ganzen Körpers gewonnen werden, erlangen durch die feineren Bewegungen des Auges ihre weitere Ausbildung. Wir sehen Gegenstände nur dann deutlich und einfach, wenn wir sie fixiren, wir lernen also ziemlich zeitig unterscheiden, ob ein Object im Kreuzungspunkte der optischen Axen liege oder nicht. Nun ist uns aber die Stellung der optischen Axen ebenfalls bekannt, und wir unterscheiden, wie schon oben nachgewiesen wurde, auch die kleinsten Winkelbewegungen derselben mit großer Genauig-



keit. Empfindet man aber, daß man mit den optischen Aren eine Bewegung von  $50^\circ$  nach oben ausführte, um etwa einen Stern deutlich zu sehen, so weiß man auch, daß dieser in der Richtung nach oben  $50^\circ$  über dem Horizonte steht.

Die Erziehung des Auges geht noch einen Schritt weiter. Wir haben gelernt, daß ein Gegenstand, welcher um eine gewisse Anzahl von Graden seitlich von dem Objecte liegt, welches wir zur Zeit am deutlichsten sehen, eine Seitenbewegung von eben so viel Graden nöthig mache, wenn er seiner Seite zur vollen Deutlichkeit kommen soll. Wir folgern also, noch ehe wir die Bewegung gemacht haben, aber auf Grundlage früherer Erfahrungen, nach welcher Richtung hin der Gegenstand liege.

Ich wiederhole es, die Vorstellung von der Richtung der Gesichtsobjecte resultirt aus dem Bewußtsein der Muskelbewegung, welche die Augen auf das fixirte Object einstellt. Zu den vielen Beweisen für die Richtigkeit dieses Satzes gehört es, daß die phantastischen Gesichtserscheinungen den willkürlichen Bewegungen des Auges folgen <sup>1)</sup>. Ueberhaupt kenne ich keine Erscheinung, welche nicht durch die hier aufgestellte Theorie erklärt würde, während meines Wissens keine andere existirt, welche alle von mir namhaft gemachten Schwierigkeiten zu beseitigen wüßte. — Es ist jetzt begreiflich, warum die Blendungsbilder den willkürlichen Bewegungen des Auges folgen und bei Verschiebung des Augapfels durch Fingerdruck ihren Ort behaupten, denn jene kommen zum Bewußtsein, diese nicht — Es ist begreiflich, warum das Blendungsbild bei seitlicher Neigung des Hauptes eine schiefe Stellung gewinnt, da doch die Arendrehung dem Netzhautbilde die perpendiculäre Richtung sichert, nämlich die Neigung des Hauptes wird uns bewußt, die Arendrehung des Auges bleibt unbewußt, demnach muß die Vorstellung von der Richtung des Objectes sich auf jene stützen und nicht auf diese. — Es ist verständlich, warum wir die Gegenstände verkehrt sehen, wenn wir durch ein astronomisches Fernrohr blicken, und warum eine perpendiculäre Linie, die wir mit einem Auge fixiren, sich schief stellt, wenn wir durch Fingerdruck eine Arendrehung bewerkstelligen, denn das Verhältniß ist folgendes: Wir haben durch Erfahrung gelernt, daß Gegenstände, welche im normal gerichteten Auge verkehrte Bilder geben, eine aufrechte Stellung haben, diese Lage des Bildes und das Gefühl der normalen Augenstellung associiren sich durch Gewohnheit. So lange wir also Grund haben zu glauben, daß unser Auge seine normale Stellung habe, müssen wir jedes verkehrte Bild auf einen aufrechten Gegenstand, und wiederum jedes aufrechte Bild auf ein verkehrtes Object beziehen. Hierher gehört denn auch der merkwürdige Fall des operirten Blinden. Dieser lernte mit dem linken Auge sehen, welches schielte, für ihn lagen also die Gegenstände des deutlichsten Sehens, bei unangestrigtem Auge nach rechts, und es bildete sich bei ihm erfahrungsmäßig die Vorstellung aus: die Gegenstände des deutlichsten Sehens liegen auf der Seite der rechten Körperhälfte. Jetzt wurde der innere Augenmuskel durchschnitten und das Auge stellte sich unbewußter Weise gerade nach vorn. Natürlich mußte er auch jetzt meinen, der deutlichste Theil des Gesichtsfeldes läge

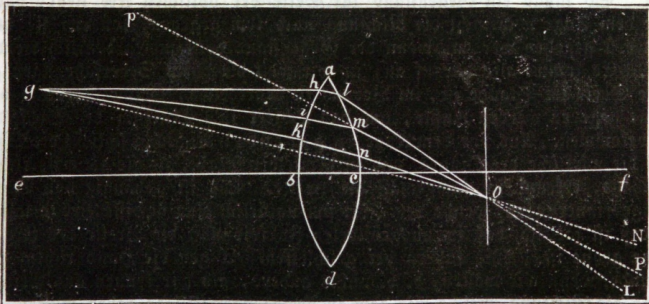
<sup>1)</sup> Das Gegentheil sagt Joh. Müller in seiner Schrift über die phantastischen Gesichtserscheinungen (S. 37), jedoch nicht zu Folge eigener Erfahrung, da bei ihm die Bilder mit jeder Bewegung des Auges verschwinden. Ich kann aus vielfältiger eigener Erfahrung auf das bestimmteste versichern, daß die leuchtenden Phantasmen der Richtung des Auges folgen, und hörte auch von andern Personen meine Bemerkung bestätigen.



nach rechts, denn das Muskelgefühl war nach wie vor dasselbe, und eben das Muskelgefühl bedingt die Vorstellung der Richtung.

Verschiedene Physiologen haben mit Bezugnahme auf optische Lehrsätze zu beweisen gesucht, daß Gegenstände, die seitlich zur Sehaxe liegen, nicht an ihrem rechten Orte gesehen würden. Sie alle irren darin, daß sie ihre Behauptungen mit Sehstrahlen oder Sehlinien demonstrieren, welche über die Grenzen des empfindenden Organes in die Außenwelt hinausgehen. Solchen Linien entspricht aber nichts Wirkliches, daher sind alle Demonstrationen mit ihnen, wie mathematisch zugestuzt sie auftreten mögen, illusorisch. Ich habe dies mit Bezug auf Bur ow's Beweis des unrichtigen Sehens schon anderwärts ausführlich nachgewiesen; hier noch ein Paar Andeutungen über den letzten verfehlten Versuch von Valentin. Nach ihm sind wir zu der Vorstellung genöthigt (?), daß die Lichtwellen Nervenätherschwingungen erzeugen, und diese werden nothwendiger Weise (?) nicht nur der Zahl, sondern auch der Richtung nach von jenen bestimmt werden. Da ferner unser Wahrnehmen darin bestehe, daß wir die Empfindung nach außen versetzen(?), so müssen die Sehstrahlen sich kreuzen, und ein in der obern Hälfte der Netzhaut liegender Punkt müsse (?) seine Empfindungen nach unten, ein unten liegender Punkt nach oben tragen. Indem nun von jedem leuchtenden Punkte viele Lichtstrahlen auf die Netzhaut fielen, deren jeder einen andern Sehstrahl bedinge (?), so müsse die Empfindung sich als Diagonale aller jener Sehstrahlen ergeben (?). Aus diesem Grunde sehen wir Gegenstände, welche in der Verlängerung der Seharen liegen, am rechten Orte, dagegen alle zur Seite der Sehaxe befindlichen am unrichtigen (?). Denn heißt es, wenn sich der leuchtende Punkt  $g$  außerhalb der Axenverlängerung  $ef$  der Linse  $abcd$  befindet, so wird schon sein Mittelstrahl  $gi$  schief in der Bahn  $gim$  abgelenkt, die äußersten  $gh$  und  $gk$  verfolgen die Wege  $hlo$  und  $kno$ . Die in  $lo$  und  $no$  afficirte Retina versetzt den Eindruck in  $op$  (?), d. h. die Gesichtslinie ist eine andere als die Richtungslinie ( $og$ ).

Fig. 23.

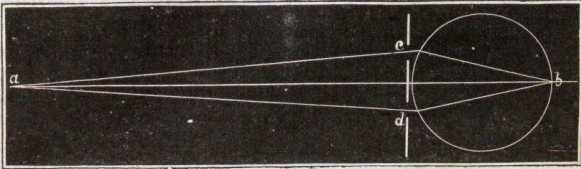


Diese Beweisführung ist mehr nicht, als eine Verkettung unerwiesener Behauptungen. Wer z. B. gestattet uns das Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte, welches nur für die Mechanik Gültigkeit hat, in der Lehre von den Empfindungen zu benutzen? Es müßten doch Massen da sein, in deren Bewegung das Gesetz sich geltend machte, aber wo sind diese Massen? Zugabe ferner, das Parallelogramm der Kräfte fände hier Anwendung, wo soll die Diagonale  $om$  herkommen? Wenn, der Behauptung gemäß, die



Lichtwellen nothwendig Nervenätherschwingungen von gleicher Richtung erzeugen, so kann die Lichtwelle  $lo$  nur die Nervenätherwelle  $oL$ , desgleichen  $no$  nur  $oN$  erzeugen. Dann wäre die Diagonale  $oP$ , und wir sehen den Gegenstand nach hinten, wenn nicht etwa die Empfindungsschwingungen den Nervenätherschwingungen diametral entgegengesetzt sind. Aber die Darstellung ist nicht nur unberechtigt, sondern nachweislich falsch, wie folgende bekannte Erfahrung nachweist.

Fig. 24.



Man betrachte ein Object  $a$  durch zwei Kartenlöcher  $cd$  in passender Sehweite, so sieht man es einfach, und, nach Valentin's Theorie, am rechten Orte, weil die Strahlen  $cb$  und  $db$  die mit der Richtungslinie zusammenfallende Diagonale  $ab$  geben. Nun bleibt aber  $a$  an demselben Orte stehen, auch wenn man das eine oder andere der Kartenlöcher verschließt, woraus erstens folgt, daß die prätendirte Sehlinie  $ab$  nicht als Diagonale von  $bc$  und  $bd$  betrachtet werden kann, und zweitens und allgemeiner, daß die Richtung des Sehens von der Richtung der Lichtstrahlen ganz unabhängig ist. Schon Porterfield bewies dies.

In wie weit wir Gegenstände, welche zur Seite der optischen Are liegen, an ihrem rechten Orte sehen oder nicht, ist aus dem Vorhergehenden leicht abzuleiten. Wir erkennen die Richtung der Gesichtsobjecte, indem wir die Richtung fühlen, die wir dem sehenden Auge gegen das Object geben. So lange ein Gegenstand zur Seite der optischen Are liegt, haben wir dem Auge noch nicht die Richtung nach ihm gegeben, sondern sie muß ihm erst gegeben werden, wenn der Gegenstand vollkommen deutlich werden soll. Es kommt also darauf an, in wie weit die durch Seherfahrungen geübte Seele im Stande ist, im Voraus zu beurtheilen, welche Stellung dem Auge gegeben werden müßte, um das Object in's Centrum des Sehfeldes zu bekommen. Aus der dem Auge zu gebenden Richtung schließt die Seele auf die wirkliche des Dinges, und in demselben Maße, als sie die erste richtig abschätzt, erkennt sie sachgemäß die zweite. Sie ist abhängig von Bewegungserinnerungen, welche dem Irrthum natürlich eine gewisse Breite lassen. Indes ist factisch, daß im ausgebildeten Individuum, die Breite des Irrthums keine große ist. Wir führen bei geschlossenen Augen die Hand richtig zum Munde, wenn wir wollen, d. h. nichts anders, als wir kennen aus Erinnerung die Richtung, welche wir dem zu bewegendem Gliede geben müssen, um zur Betastung des Mundes zu gelangen. Gleicherweise wissen wir, welche Richtung dem Auge nöthig ist, um zur Fixation eines seitlichen Punktes zu gelangen, und das Muskelgefühl der Augen ist feiner, als das der Extremitäten.

#### B. Vom Wahrnehmen der Entfernung.

Erst durch Erziehung des Gesichtssinnes kommen wir zu Anschauungen der Tiefe, d. h. zu dem Vermögen, das Vor- und Hintereinanderliegen von

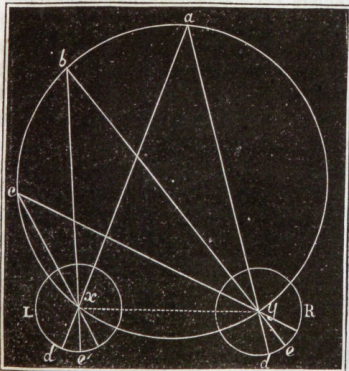


Gefichtsobjecten wahrzunehmen. In einem frühern Abschnitte ist gezeigt worden, wie die Raumanschauungen des Sehorganes nicht nur aus räumlichen Affectionen der Netzhaut hervorgehen, sondern diesen auch vollständig correspondiren. Die Netzhaut ist eine empfindende Fläche, und so lange die reine Empfindung waltet, muß alles Sehen ein flächenhaftes sein, weil die Empfindung über das afficirte Organ nie hinausgeht. Die Erfahrung bestätigt diese Behauptung. Zwar will es wenig sagen, daß kleine Kinder nach dem Monde greifen, denn dies beweist nur, daß sie nicht wissen, wie weit derselbe entfernt ist, und das Factum scheint sogar anzudeuten, daß das Kind die ersten Vorstellungen von Tiefe schon gewonnen habe, denn das Greifen gilt eben einem Aeußern und in sofern Entfernten, aber entscheidend sind auch hier die schönen Beobachtungen des Dr. Franz. Der operirte Blindgeborne (wie bemerkt, ein verständiger junger Mann) war nicht im Stande, eine Kugel von einer Scheibe, oder eine Pyramide von einem Dreieck zu unterscheiden. Als man ihm eine Pyramide so hinstellte, daß eine ihrer scharfen Kanten nach vorn stand, erklärte er nach langer Ueberlegung, dies sei weder ein Dreieck noch ein Viereck, überhaupt aber eine sehr sonderbare Figur, und er gestand endlich sein Unvermögen herauszufinden, was für eine Art Körper hier vorliege. Gleichwohl war dem jungen Manne die Pyramide aus frühern Tactversuchen wohl bekannt.

Wir verhalten uns beim Betrachten naher Gegenstände anders, als beim Betrachten ferner; und indem wir uns der verschiedenen Art unserer Thätigkeit bewußt werden, lernen wir mit Hilfe vergleichender Selbstbeobachtung zwischen Nahsehen und Fernsehen unterscheiden, worauf wiederum neue Erfahrungen uns darüber Aufschluß geben, was ein solches Nahsehen und Fernsehen für objective Beziehung habe. — Das Nahsehen ist namentlich mit starker Convergenz der Augenaren verbunden, das Fernsehen mit geringer, und da wir die jedesmalige Stellung unserer Augen durch das Muskelgefühl wahrnehmen, so fehlt es uns nicht an Gelegenheit, Erfahrungen zu sammeln, zunächst über eigene Thätigkeiten, dann aber über äußere Verhältnisse, welche jene Thätigkeiten in einer gewissen Weise bedingen.

Jo h. Müller giebt zu, daß die Stellung der Augenaren von Wichtigkeit sei, wenn es sich um die Beurtheilung der Entfernung von Gegenständen handle, welche gerade vor uns liegen, behauptet dagegen, daß dieses Mittel alle Wirksamkeit verliere, wenn die Gesichtsobjecte eine seitliche Lage hätten.

Fig. 25.



Er demonstirt an Fig. 25, daß ein seitlich gelegener naher Gegenstand c unter demselben Convergenzwinkel der optischen Aren gesehen werde, als die fernen Gegenstände b und a, was geometrisch richtig ist, da die Winkel bei a, b und c Winkel an der Peripherie sind und sämmtlich zu Dreiecken gehören, welche die Sehne xy zur Basis haben.

Hieraus ergibt sich indeß nur soviel, daß Erfahrungen, welche



beim Sehen nach vorn gewonnen wurden, nicht benutzt werden können, um über das Maass der Entfernung seitlich gelegener Objecte zu urtheilen. Dagegen bleibt immer richtig, worauf es hier ankommt, daß auch bei seitlicher Lage der Gesichtsobjecte eine stärkere Convergenz der Seharen auf eine größere Nähe und umgekehrt eine geringere Convergenz derselben auf größere Entfernung bezogen werde.

Ich bin der Meinung, daß das Gefühl der Augenstellung bei Wahrnehmung der Dimension der Tiefe das wichtigste Moment ist, womit die bekannte Erfahrung zusammenhängt, daß wir Entfernungen mit beiden Augen weit genauer schätzen, als mit einem. Nächst dem sind die Accommodationsveränderungen zu nennen, welche bei Betrachtung verschieden entfernter Gegenstände specifisch verschiedene Gefühle erwecken. Beide Arten von Gefühlen leiten uns bei Beurtheilung stereometrischer Verhältnisse, also beispielsweise bei Unterscheidung einer Zeichnung von einem Basrelief.

Betrachtet man einen Gegenstand, etwa einen Würfel, in nicht zu großer Sehweite, so sieht man ihn, wie oben gezeigt wurde, mit dem linken Auge anders als mit dem rechten, man sieht z. B. mit dem linken eine Seitenfläche, welche das rechte nicht wahrnimmt, ein Verhältniß, welches natürlich davon abhängt, daß jene Seitenfläche eben nur dem einem Auge zugewendet, für das andere dagegen verborgen ist. Diese Verschiedenheit der Ansichten, welche bei einer Zeichnung nicht vorkommen kann, lehrt uns zunächst, daß wir einen Körper mit Dimensionen der Tiefe vor uns haben, aber indem die Verschiedenheit der Ansichten, die dem linken und rechten Auge geboten werden, je nach dem Grade der Entfernung des fixirten Körpers verschieden ausfällt, gewinnen wir einen Anhaltspunkt, zu beurtheilen, wie weit der Körper als Ganzes von uns entfernt sei.

Es ist hier der Ort, noch einmal auf Wheatstone's Theorie zurückzukommen. Wir haben einräumen müssen, daß die Beurtheilung der Entfernung verschiedener Objecte und die Beurtheilung der Entfernung verschiedener Punkte desselben Objectes (aus welcher die Anschauung des Körperlichen hervorgeht) auf denselben Principien beruhe, und zwar durch das Bewußtsein der Convergenz unserer Seharen vermittelt werde. Gesezt, es ließe sich erweisen, daß die stereometrischen Vorstellungen auch ohne Veränderung der Augenstellung gewonnen werden könnten, so wäre die Anwendbarkeit unserer Erklärung auch für die Abschätzung der Entfernung höchst zweifelhaft.

Der treffliche englische Physiker geht nun offenbar von der Voraussetzung aus, daß die stereometrischen Anschauungen im Stereoskop ohne Veränderung der Augenstellung zu Stande kommen, und der Umstand, daß die Figuren, welche die Vorstellung eines Körpers erwecken, in einer Ebene verzeichnet sind, begünstigt diese Voraussetzung, denn, kann man sagen, hier sind Punkte, welche näher oder ferner liegen, gar nicht vorhanden.

Brücke<sup>1)</sup> und Courtaul<sup>2)</sup> behaupten demungeachtet die Mitwirkung der Augenbewegungen bei den stereoskopischen Versuchen. Sie geben zu, wie sich von selbst versteht, daß das Bild im Stereoskop nicht nähere und fernere Flächen, Linien und Punkte wirklich enthalte, bemerken aber, daß jenes Bild Flächen, Linien und Punkte darbiete, welche sich in Folge der perspectivischen Zeichnung beider Figuren dem Sehorgane gegenüber vollkommen eben so verhalten, als wenn sie wirklich in verschiedenen Entfernungen lägen.

<sup>1)</sup> Müller's Archiv, 1841. S. 459.

<sup>2)</sup> Die Dimensionen der Tiefe u. s. w. Münster, 1842.



Nach ihrer Ansicht würden nun die Augenaren bei Betrachtung des stereoskopischen Bildes eine Bewegung ausführen, bei welcher ihr Kreuzungspunkt zwar nicht die Tiefendimensionen eines wirklichen Körpers, wohl aber die Tiefendimensionen eines als tief gezeichneten Objectes durchlaufe. Bei jeder andern Stellung der Aren auf einen nähern oder fernern Punkt träten andere Theile der Bilder in den Horopter, dieselben nämlich, welche bei Durchmusterung des wirklichen Körpers in denselben getreten sein würden, und so entstehe aus einer Menge in der Zeitfolge gewonnener Eindrücke, unter Mitwirkung des combinirenden Vorstellungsvermögens, die Anschauung eines Körpers.

Obgleich dieser Darstellung meines Erachtens eine wichtige Wahrheit zu Grunde liegt, die nämlich, daß die Seele durch das Mittelglied bewußter Augenbewegungen zu den Anschauungen der Tiefe und der Entfernung gelange, so enthält sie doch das Unrichtige, daß sie einen Proceß, der zur Erziehung des Auges für Tiefenanschauung nothwendig ist, in jedem particularären Falle des Sehens von Neuem in Anspruch nimmt. Das Auge erkennt das Stereometrische viel zu schnell, als daß an die Mitwirkung jener Arenbewegungen im einzelnen Falle zu denken wäre. Brücke freilich behauptete das Gegentheil und suchte zu beweisen, daß das Sehorgan in einem einzigen Augenblicke, und zwar buchstäblich in der Zeit, welche zur Verlegung des Convergenzpunktes der Seharen erforderlich ist, Musse genug finde, um die gesammte Masse von Eindrücken zu sammeln, welche sich zur Herstellung einer stereometrischen Anschauung verbinden müssen. Er beruft sich dabei auf Wheatstone's Entdeckung, daß ein Lichteindruck, welcher nur 0,000001 Secunde dauert, einen wahrnehmbaren Eindruck erzeugt. Brücke dürfte Recht haben, daß das Auge in der Zeit eines einzigen Augenblickes eine große Menge von Eindrücken zu sammeln vermag; aber gerade die Erfahrung Wheatstone's, auf welche er sich beruft, giebt ein Mittel an die Hand, zu beweisen, daß wir stereometrische Verhältnisse auch ohne Arenbewegungen aufzufassen im Stande sind. Ich habe mich nämlich auf das Bestimmteste überzeugt, daß die Dimensionen der Tiefe auch bei Entladung des elektrischen Funkens, welcher eben 0,000001 Secunde dauert, deutlich wahrnehmbar sind. Dies entscheidet, da die schnellsten Augenbewegungen gegen 50,000mal mehr Zeit in Anspruch nehmen!

Die mitgetheilte Beobachtung kann leicht mißverstanden werden. Dieselbe beweist nicht, daß Entfernung und Tiefe reine Sinnesanschauungen sind, ebenso wenig daß die Erkenntniß beider zu den Augenbewegungen ohne Beziehung sei. Vielmehr beweist sie nur so viel, daß die Wahrnehmung des Stereometrischen nicht immer auf Bewegungen beruhe, die wir machen, sondern, wenn überhaupt auf Bewegungen, bisweilen auf solchen, die wir gemacht haben, also auf Bewegungsgerinnerungen.

Wer diese Erklärung zu gewagt finden sollte, der untersuche, ob eine zweite überhaupt noch möglich sei. Die Thatsache ist die, daß ein Object von Tiefendimensionen in jedem Auge ein anderes Bild erzeugt, und wir fragen, warum entsteht aus zwei verschiedenen Bildern ein einziges? Wenn differente Punkte der Netzhäute, ebenso wie identische, ihre Empfindungen in gleichen Stellen des Sehfeldes verzeichneten, so wäre die Frage schon beantwortet; aber wir haben oben erwiesen, daß diese von Wheatstone aufgestellte Ansicht nicht haltbar sei. Bilder auf differenten Netzhautstellen, sind für die Empfindung nothwendig zwei Bilder; welches also ist der Proceß, der sie zusammenschmilzt? Mein Versuch mit dem elektrischen Funken giebt



die Zeit an, in welcher die Verschmelzung zu Stande kommt, sie ist unendlich kurz und schließt daher die Mitwirkung der Augenbewegung in dem combinatorischen Proceß unbedingt aus. Die Verbindung geht mit einer Schnelligkeit vor sich, welche ihres Gleichen nur in dem Gange der Vorstellungen hat, und Vorstellungen bedürfen nicht präserter, wohl aber vorgängiger Empfindungen.

Nach diesen Bemerkungen wird es weniger auffallen, wenn ich behaupte, daß der Proceß, welchen das Sehorgan in seiner Lehrzeit durchmacht, um Dimensionen der Tiefe kennen zu lernen, daß dieser in einer späteren Zeit, wo die Seele zahllose Erfahrungen in Bereitschaft hat, nicht in seiner langweiligen Ausführlichkeit wiederholt zu werden brauche. Die Netzhäute empfangen differente Bilder, aber es kommt nicht zur Empfindung der Differenz, denn die Seele, eingedenk, daß dieses Doppelte sich bei fortgesetzter Betrachtung als ein Einfaches ausweise, anticipirt das wohlbekannte Resultat, mit Ueberspringung aller Mittelglieder, welche es herbeiführen. Die Vorstellung siegt über die Empfindung, hat aber die ganze Lebhaftigkeit einer solchen, weil sie durch eine wahre Empfindung unterstützt wird. Ganz analoge Verhältnisse kommen vielfältig vor. Wer sich ein wohlbekanntes Gemälde in der Vorstellung zu vergegenwärtigen sucht, der wird immer nur ein undeutliches, ziemlich farbloses Bild gewinnen, wer aber auch nur eine Figur eines solchen Gemäldes wirklich sieht, der sieht gleich das Ganze, indem die Einbildungskraft den Rest ergänzt, und, zwar mit einer Lebhaftigkeit, welche der Empfindung sehr nahe kommt<sup>1)</sup>.

Diese Auffassungsweise der vorliegenden Frage, kann bei genauerer Prüfung um so weniger Anstoß geben, als sich auch anderweitig nachweisen läßt, daß unsere Vorstellungen von der Entfernung das Product zusammengetragener Erfahrungen sind. Dies zeigt sich sehr auffallend bei dem Einflusse der Luftperspective auf unser Urtheil über Entfernung. Zwischen dem Objecte und unserem Auge liegt eine mehr oder weniger unreine Luftschicht, deren Dünste einen Theil des Lichtes wegnehmen und hiermit die Umrisse, wie die Farben, der Dinge undeutlich machen. Wir lernen diese Verundeutlichung für die gewöhnlichen Verhältnisse, in denen wir leben, kennen, und bringen diese Erfahrungen mit der uns ebenfalls erfahrungsmäßig bekannten Entfernung der Dinge in Zusammenhang. So wissen wir, daß blaue Berge, deren Schluchten und Spitzen im Einzelnen nicht erkennbar sind, weit entfernt liegen. Wendet sich nun der Zustand der Atmosphäre in einer auffallenden Weise, so verlieren wir unseren Maßstab für die Entfernungen und verfallen in Täuschungen. Daher begegnet es den Bewohnern des Nordens in Italien häufig, daß sie entfernte Berge für näher und kleiner halten, als sie sind, indem sie den Glanz der Farben und die Masse wahrnehmbarer Einzelheiten, nach früheren Erlebnissen, allerdings nur auf große Nähe beziehen können.

Wir beurtheilen also die Entfernung der Gesichtsobjecte allerdings nach

<sup>1)</sup> Man könnte einwerfen wollen, nach dieser Theorie sehe die Seele etwas Anderes, als ihr die Augen zeigten; aber das Gesagte beseitigt im Grunde schon diesen Einwurf. Ich darf hinzufügen, daß die ausgebildete Seele immer etwas anderes sieht, als ihr das Auge zeigt, nämlich mehr. Die Seele percipirt mit dem Sinneneindrucke gleichzeitig Alles, was sich durch Ideenassociationen mit diesem verbindet; wir sehen das erste Weilchen im Frühling mit anderen Augen an, als das verspätete im Herbst. Interessant wäre von einem operirten Blindgeborenen, wie der des Dr. Franz, zu hören, wie sich die ersten Gesichtseindrücke von den späteren dem Inhalte nach unterscheiden. Was sah er in einem menschlichen Antlitz? Genöß er von Anfang an den Eindruck der Schönheit? u. s. w.



dem Grade ihrer Beleuchtung, wobei es indeß lediglich auf die zufällige Verminderung des Lichtes durch atmosphärische Dünste, und nicht etwa auf die Intensitätsverminderung ankommt, welche das Licht in seinem Fortgange erleidet, und welche den Quadraten der Entfernung gleich ist. Die Helligkeit der Netzhautbilder erleidet nämlich durch die Entfernung der Objecte von dieser Seite keinen Abbruch. Der Grund hiervon ist, daß nicht nur die Intensität des Lichtes, sondern auch der Flächeninhalt des Bildes, wie die Quadrate der Entfernung abnimmt. Ist bei doppelter Entfernung die Lichtintensität um das Vierfache vermindert, so erhält das Netzhautbildchen nicht weniger Licht als vordem, da es ja ebenfalls um das Vierfache verkleinert wurde. — Valentin will den Einfluß der Beleuchtung auf das Erkennen der Entfernung daraus ableiten, daß nahe Gegenstände verhältnißmäßig mehr Licht in's Auge senden als ferne, indem die Iris von den Lichtstrahlen der letzteren mehr auffange, als von denen der ersteren<sup>1)</sup>. Dieser Umstand dürfte indeß zu unwichtig sein, um auf die Beurtheilung der Entfernung einen Einfluß zu gewinnen, jeden Falls ist die Valentin'sche Deduction unbrauchbar, da die Gleichung, welche das Endresultat herbeiführen soll ( $ce:ci = ce + fd:ef$ ) unrichtig und der Wortausdruck für letzteres mit dem Ergebnisse der Rechnung nicht vereinbar ist.

Wenn schon die Erkenntniß, daß ein Gegenstand weiter entfernt ist als der andere, durch den reinen Sehact nicht gewinnbar ist, so erfordert die Wahrnehmung des Grades der Entfernung noch weit complicirtere Thätigkeiten. Auf eine nähere Untersuchung dieser einzugehen, scheint nicht am Platze.

A. W. Volkmann.

<sup>1)</sup> Lehrbuch der Physiologie, II. 459.