

dass die Linie sich nach rechts und links abwärts zu neigen scheint und also den Eindruck einer nach unten concaven Bogenlinie macht.

Ganz ebenso wie mit dieser horizontalen Linie verhält es sich mit jeder andern Geraden, die das Auge nicht von der Primärstellung aus verfolgt. Jede solche Linie erscheint dem Auge concav gegen den *Hauptblickpunkt* gebogen, und zwar um so stärker, je grösser ihre Entfernung vom Hauptblickpunkt ist.

Man kann die Erscheinung am besten an langen horizontalen Linien, z. B. an den architektonischen Linien einer langen Façade, wahrnehmen. *Fig. 1*, welche das Bild einer vierfachen Säulenreihe (Grundriss siehe *Fig. 4*) repräsentirt, zeigt den Charakter dieser Krümmungen, allerdings in starker Uebertreibung.

Fig. 1.
(Tafel I.)

Wir wollen diese scheinbaren Bogenlinien kurz als *subjektiv-perspektivische Curvaturen* bezeichnen und werden denselben in §. 7 eine eingehende Betrachtung widmen.

§. 6.

Doppel-Auge, Kopfdrehungen, Augenmass.

Ehe wir in unserem unmittelbaren Thema fortfahren, erscheint es nothwendig, das Gebiet, auf das sich seither unsere Betrachtung des Sehprocesses beschränkte, zu erweitern und dadurch unseren Anschauungen über das Wesen desselben die nothwendige Vervollständigung zu ertheilen.

Wir haben uns im Bisherigen lediglich auf das Sehen mit einem Auge beschränkt. Wir sehen aber thatsächlich mit zwei Augen.

Wir können uns hier selbstverständlich nicht auf die Erörterung der ganzen Theorie des *binokularen Sehens* einlassen und müssen in

Bewegungsvorgang durch Vermittelung der Muskelgefühle —, oder ob endlich der zu dieser Bewegung aufgewendete Willensakt direkt zum Bewusstsein kommt, ist wenigstens für das faktische Resultat der Wahrnehmung und der im Gehirn sich vollziehenden Combination der Einzeleindrücke zu einem Gesamteindruck vollkommen gleichgiltig. — Die Wahrscheinlichkeit spricht übrigens dafür (vergl. §. 4 S. 15), dass es die *Innervationsgefühle* sind, welche jede bestimmte Stellung des Auges (inclusive *Raddrehung*) scharf charakterisiren und zum Bewusstsein bringen, und dass den sogen. *Lokalzeichen* der Empfindung der Netzhaut eine mehr untergeordnete, kontrolirende Bedeutung zukommt.

dieser Beziehung auf die angeführten Quellenwerke verweisen. Wir begnügen uns damit, die folgenden Thatsachen zu berichten:

Beim Sehen mit dem Doppel-Auge besteht das Fixiren (abgesehen von der *Accommodation*) darin, dass die Blicklinien beider Augen nach dem fixirten Punkt gerichtet werden. Der jeweilige *Blickpunkt* ist also der Durchschnittspunkt der beiden convergirenden Blicklinien. Die Ebene der beiden Blicklinien heisst die *Blickebene*, ihre Stellung in der natürlichen Ruhelage — die *Primärlage der Blickebene*. Dieselbe ist, entsprechend der Primärstellung jeder einzelnen Blicklinie, ein wenig nach abwärts geneigt und fällt zusammen mit der Ebene des seitlichen Muskelpaars (*Rect. ext. und int.*). Die Drehung *nach rechts und links* erfolgt innerhalb der Blickebene (d. h. ohne dass diese ihre Lage ändert). Die Bewegung *nach aufwärts und abwärts* geschieht durch Drehung der Blickebene um die Verbindungslinie der beiden Augendrehpunkte, welche wir die *Basallinie* nannten.

Es werden nun auf beide Netzhäute Bilder der fixirten Punkte entworfen, welche aber in eine einzige — die Lage der Punkte im Raum genau bestimmende — Vorstellung verschmolzen werden. Wir betrachten bei Fixirung eines Objectes »die ganze Summe von Gesichtseindrücken und Innervationsgefühlen nur als das sinnliche Zeichen für ein dort gelegenes Object, ohne zu analysiren, welche Eindrücke dem rechten oder linken Auge angehören, welche Stellung dieses oder jenes hat, und beurtheilen demgemäss die Richtung der Objecte gegen unsern Körper nach der gemeinsamen mittleren Richtung beider Augen.« (*Helmholtz.*)

Hering hat in der That nachgewiesen, dass die Richtung, in welche wir einen fixirten Punkt in unserer Vorstellung verlegen, zusammenfällt mit der Linie, die den *Mittelpunkt der Basallinie* mit dem fixirten Punkte verbindet. Wir schätzen also die Lage und Richtung der Punkte ganz ebenso, als wenn wir dieselben mit einem einzigen *Cyklopen-Auge* sehen würden, dessen Drehpunkt in den *Mittelpunkt der Basallinie* fällt.

Die Uebung, die wir in dieser Art der Richtungsschätzung erlangt haben, übt eine solche Macht auf unser Urtheil aus, dass wir — wie die Beobachtungen ergeben — nach ihr die Lage eines Punktes bestimmen selbst dann noch, wenn wir das eine Auge schliessen und nur einäugig fixiren.

Wir können hiernach auch für das Doppel-Auge, wie es für das

einfache Auge geschehen ist, ein *hohlkugelförmiges Gesichtsfeld* supponiren, dessen Mittelpunkt im Drehpunkt des gedachten *Cyklopen-Auges*, also im Mittelpunkt der *Basallinie* liegt.

Helmholtz (s. S. 608) hat ferner das *Hering'sche Princip* dahin erweitert, dass auch die *Raddrehungen* beider Augen sich auf eine *Raddrehung des gedachten Cyklopen-Auges* übertragen. Namentlich erfolgt die einfache Seitwärts- und Aufwärtsbewegung von der Primärstellung aus ohne Raddrehung, und macht uns ferner jede gerade Linie, die von der Primärstellung aus durchlaufen wird, auch beim binokularen Sehen einen geradlinigen Eindruck, während sie von einer Sekundärstellung aus gegen den Hauptblickpunkt concav gebogen erscheint.

Kurz: Alles, was im Vorangehenden für das Sehen mit einem Auge erörtert wurde, behält seine volle Giltigkeit auch für das Sehen mit zwei Augen.

Es gilt dies in gleicher Weise auch für alles Folgende, wo wir stets nur kurz von *dem Auge* sprechen werden und uns unter diesem ebensowohl ein Einzel-Auge als das ideelle *Cyklopen-Auge* denken können.

Eine zweite Vervollständigung, deren unsere Anschauungen über den Vorgang beim Sehen bedürfen, bezieht sich darauf, dass wir uns im Vorangehenden den Kopf stets festgestellt dachten, so dass sich nur das Auge innerhalb der unbeweglichen Augenhöhle drehen konnte. Nun aber ist in Wirklichkeit der Kopf beweglich und nimmt an jeder Aenderung der Blickrichtung thätigen Antheil. Nur verhältnissmässig kleine Richtungsänderungen werden durch bloße Drehung des Augapfels ausgeführt.

Die Bewegung des Kopfes geschieht um das *Hinterhaupt-Gelenk*, u. zw. nach ganz ähnlichen Principien wie die Bewegung des Auges. Das *Hinterhaupt-Gelenk* besteht aus zwei Theil-Gelenken, von denen das eine nur die Drehung um eine vertikale Achse, das andere die Neigung nach auf- und abwärts sowie auf die Seite (analog der Raddrehung) je um eine horizontale Achse gestattet. Durch die Zusammenwirkung beider Gelenke ist die Drehung um eine Achse von jeder beliebigen Lage ermöglicht.

Die Frage, wie sich nun der Bewegungsmechanismus des Kopfes und der des Augapfels in die Arbeit, der Blicklinie eine bestimmte Richtung zu geben, theilen, ist freilich nicht ganz leicht zu entscheiden.

Es wirken hiebei hauptsächlich zwei Rücksichten: 1) die Rücksicht, dass die Bewegung mit der möglichst geringen Gesamt-Muskelanstrengung erfolgt, 2) die Rücksicht, dass sie so erfolgt, wie es für die Zwecke des Sehens am vortheilhaftesten ist.

Was die erste Rücksicht anlangt, so ist zunächst einleuchtend, dass eine leichte Drehung des Kopfes mit weniger Anstrengung verknüpft ist, als eine sich sehr weit von der Primärstellung entfernende Augapfel-Drehung. Andererseits ist aber auch klar, dass eine Kopfdrehung mit mehr Anstrengung verbunden sein muss, als eine gleich grosse Augapfel-Drehung, insoferne die bei der ersteren zu leistende Arbeit wegen der grösseren in Bewegung zu setzenden Masse eine ungleich bedeutendere ist. — Damit hängt dann ferner auch zusammen, dass die Bewegungen des Kopfes keineswegs mit der Feinheit und Präcision ausgeführt werden wie diejenigen des Auges. In der That bemerken wir, wenn wir die beiderseitigen Bewegungen beim Sehen genauer beobachten, dass die Drehungen des Kopfes mehr ruckweise geschehen, während das stetige Durchwandern von Linien vorzugsweise durch Bewegungen des Augapfels ausgeführt wird. — Hiernach können wir im Allgemeinen sagen, dass die Kopfbewegungen die gröbere Vorarbeit besorgen, während den Augenbewegungen die feinere Detailausführung zufällt.

Was sodann die zweite Rücksicht anlangt, so müssen wir — um diese richtig zu verstehen — die Bedeutung des *Listing'schen Gesetzes* für die Zweckmässigkeit der Seh-Operationen näher ins Auge fassen.

Wundt (s. S. 546) erkennt diese Bedeutung darin, dass eine bestimmte Einstellung der Blicklinie mit der relativ geringsten Anstrengung und Unbequemlichkeit erreicht wird dann, wenn die hiezu eingeleitete Augenbewegung nach dem *Listing'schen Gesetze* erfolgt. Denn eine bestimmte Bewegung wird einen um so geringeren Aufwand von Kraft absorbiren, je mehr bei derselben überflüssige Nebenwirkungen vermieden werden. Solche überflüssige Nebenwirkungen müssen wir aber in stärkeren Raddrehungen erblicken, und diese sind eben durch das *Listing'sche Gesetz* ausgeschlossen.

Helmholtz (s. S. 853) fügt hiezu noch die Bemerkung bei, dass eine Drehung des Augapfels nach dem *Listing'schen Gesetz* auch die relativ geringste Spannung der *Bindehaut*, durch welche der Augapfel mit den *Augenlidern* verbunden ist, sowie des *Bindegewebes* und *Fett-polsters* der Augenhöhle bewirkt.

Schon hieraus ergibt sich, dass das Auge unter allen möglichen Bewegungsformen stets diejenige nach dem *Listing'schen Gesetz von der Primärstellung aus* bevorzugen wird.

Hiezu kommt aber noch ein weiteres Moment: Diese Bewegungsform ist nicht bloß die bequemste, sondern auch — was *Helmholtz* (s. S. 479) besonders premirt — die für die Zwecke des Sehens vortheilhafteste.

Schon durch das *Donders'sche Gesetz* ist ein bedeutender Vortheil bedingt. Wird nämlich beim überfliegenden Beschauen eines Objektes ein und dasselbe Linienelement wiederholt fixirt, so fällt dessen Netzhautbildchen nach dem *Donders'schen Gesetz* jedesmal in den nämlichen Netzhautmeridian. Dadurch wird natürlich ein viel leichteres und sichereres Auffassen der betreffenden Richtung ermöglicht, als wenn das Netzhautbildchen jedesmal eine andere Lage zeigen würde, wie es in Folge der verschieden grossen Raddrehungen der Fall sein müsste, wenn die Bewegung nicht nach dem *Listing'schen Gesetz* vor sich gehen würde.

Noch mehr aber fällt für die Sicherheit der Auffassung das im vorigen Paragraphen besprochene in sich selbst Verschieben des Netzhautbildes einer von der Primärstellung aus durchwanderten geraden Linie ins Gewicht, indem hiebei zu den Innervationsgefühlen noch die *Lokalzeichen der Netzhaut-Empfindung*, als die deutliche Wahrnehmung wesentlich unterstützend, hinzutreten.

Es zeigt sich dies namentlich bei der Schätzung der scheinbaren Grösse von Entfernungen, diesem für das Sehen so überaus wichtigen Moment.

Im Allgemeinen dient uns als Mass für die scheinbare Grösse einer Strecke der *Gesichtswinkel*, d. h. der Winkel, den die nach den Endpunkten der Strecke gerichteten Blicklinien einschliessen. — Wir sind im Stande, die Grösse dieses Winkels bis zu einem gewissen Grade der Genauigkeit zu beurtheilen nach der Empfindung der *Innervation*, welche aufgewendet wird, um den Winkel mit dem Blicke zu durchlaufen. Der Ausdruck: wir „*durchmessen*“ eine Strecke mit dem Blicke drückt dies ebenso kurz als bezeichnend aus.

Es ist nun einleuchtend, dass die Genauigkeit dieser Schätzung um so grösser ist, je einfacher die beim Durchlaufen aufgewendete Muskelthätigkeit ist, — um so schwieriger, je complicirter die Bewegung ist. So lassen sich z. B. horizontale Entfernungen (bei deren Durch-

messung nur das seitliche Muskelpaar thätig ist,) leichter schätzen, als vertikale Entfernungen (bei denen zwei Muskelpaare engagirt sind).

Handelt es sich ferner darum, zwei verschiedene Strecken hinsichtlich ihrer Grösse mit einander zu vergleichen, so wird eine solche Abschätzung um so leichter sein, je gleichartiger die beiderseitigen Bewegungen sind, die bei der Durchmessung beider Strecken mit dem Blicke ausgeführt werden. Denn nur Gleichartiges lässt sich vergleichen, Ungleichartiges nicht. So lassen sich z. B. zwei Strecken von gleicher Richtung mit viel grösserer Genauigkeit vergleichen als solche von ungleicher Richtung.

Am allerleichtesten ist die Beurtheilung dann, wenn die zwei Bewegungen genau identisch sind. Dies findet z. B. statt, wenn man zwei parallele Strecken — jede von der Primärlage des Auges aus — durchmisst. In diesem Fall verschiebt sich das Netzhautbildchen jeder Strecke in sich selbst, und zwar jedes auf dem nämlichen Netzhautmeridian. Hiedurch wird schon an und für sich eine grosse Leichtigkeit der Vergleichung der zwei Bewegungsgrössen bedingt, und dazu kommt noch, dass das Innervationsgefühl wesentlich unterstützt wird durch die *Lokalzeichen* der Empfindung, die wir von den zwei auf die nämliche Netzhautlinie fallenden Bildchen der zwei Strecken empfangen.

Die Möglichkeit aber, Strecken gleicher Richtung auf der nämlichen Netzhautlinie abzubilden, ist nur dadurch bedingt, dass die Bewegung nach dem *Listing'schen Gesetz von der Primärstellung* aus erfolgt. Das Gesagte dürfte also ein Beleg dafür sein, dass die durch das *Listing'sche Gesetz* bedingte Bewegungsform in der That für die Zwecke des Sehens die vortheilhafteste ist.

Das merkwürdige Zusammentreffen, dass die bequemste Bewegungsform auch zugleich die vortheilhafteste ist, dürfte nicht wohl zufällig sein. *Helmholtz* sagt hierüber (S. 486): »Es ist wohl nicht zu läugnen, dass, wenn der Augenmuskelapparat vieler Generationen hinter einander sich den Bedürfnissen der Individuen angepasst hat und sich seine Anordnung auf die Nachkommen vererbt, für die faktische Herbeiführung der zweckmässigsten Raddrehungen des Auges der Umstand, dass sie die leichtesten sind, ausserordentlich günstig einwirken muss.« —

Kehren wir nunmehr wieder zu der Frage zurück, von der wir ausgegangen sind, nämlich: in welcher Weise die Arbeit zwischen dem Bewegungsmechanismus des Kopfes und dem des Augapfels getheilt wird!

Wir kamen zuerst zu dem Resultat, dass im Allgemeinen die Arbeitstheilung in der Art geschehen werde, dass die dabei aufgewendete Gesammt-Muskelanstrengung eine möglichst geringe ist.

Nunmehr können wir weiter sagen: Da es für die Zwecke des Sehens das Vortheilhafteste ist, wenn die Augenbewegungen *von der Primärstellung aus* geschehen, und da dies für die blose Bewegung des Augapfels zugleich das Bequemste ist: so wird eine wesentliche Aufgabe der Kopfdrehungen darin bestehen, diese *Primärstellung* für die einzelnen zu betrachtenden Linien zu bewirken, insoweit als der eventuell damit verbundene grössere Aufwand von Gesammt-Muskelanstrengung durch die Bedeutsamkeit der betreffenden Linie oder den speciellen Zweck des Sehens aufgewogen wird.

In der That erkennen wir auch bei unserer Selbstbeobachtung deutlich, dass, wenn wir ein Objekt recht genau sehen wollen, wir den Kopf so drehen, dass die fixirende Blicklinie zugleich sich in der *Primärstellung* befindet. Es geschieht dies z. B. beim Lesen und Schreiben unwillkürlich. — Wir können etwa ein *einfaches Fixiren* und ein *schärfstes Fixiren* unterscheiden. Beim *einfachen* Fixiren richten wir bloß die Blicklinie nach dem Objekt, beim *schärfsten* Fixiren drehen wir gleichzeitig den Kopf so, dass die Blicklinie die *Primärstellung* einnimmt.

§. 7.

Die subjektiv-perspektivischen Curvaturen und das Collinearitäts-Bewusstsein.

Die *perspektivischen Curvaturen* werden im II. Theil dieser Schrift eine so wichtige Rolle spielen, dass es nothwendig erscheint, denselben eine eingehendere Betrachtung zu widmen.

Es mag vielleicht der eine oder andere meiner Leser am Schluss des §. 5 ungläubig den Kopf geschüttelt haben über die Unterstellung, man sehe gerade Linien krumm, und gar über den Versuch, eine solche Täuschung bildlich fixiren zu wollen, wie es in *Fig. 1* geschehen ist.

Fig. 1
(Tafel I.)

Hiegegen ist vor allem darauf hinzuweisen, dass die Curvaturen nur bei sehr kleiner Augdistanz so stark sind, dass sie auffallend