

(Aus der physikalischen Abteilung des physiologischen Instituts  
der Universität Berlin.)

## Vergleichende Messung der kompensatorischen Rollungen beider Augen.

Von

Dr. ROSWELL PARKER ANGIER, Cambridge U. S. A.

In einer neueren Untersuchung über die sog. kompensatorischen Rollungen des Auges hat YVES DELAGE<sup>1</sup> einige interessante und auffallende Besonderheiten dieser Augenbewegungen aufgefunden, welche bisher noch nicht beobachtet worden waren. Der Besprechung seiner Versuche möchte ich die Bemerkung vorausschicken, daß der französische Forscher nur mit sich selbst als Versuchsperson arbeitete und daß seine Methodik auf dem ziemlich hochgradigen Astigmatismus, also einer Abnormität seiner Augen, beruhte.

Wenn der Körper von der aufrechten Haltung ausgehend nach und nach durch volle 360 Grad seitwärts gedreht wurde, und zwar um diejenige sagittale Achse, welche durch den Mittelpunkt der Verbindungslinie beider Augen (Nasenwurzel) gelegt zu denken ist, so zeigte sich, daß erstens bei fast jeder gegebenen Körperlage die Kompensationsbewegung des einen Auges dem Betrage nach bedeutend verschieden von der des anderen war. Zweitens beobachtete DELAGE, daß die Rollung in entgegengesetztem Sinne ablaufen kann: Die Drehung des Augapfels kann nämlich kleiner oder größer sein, als die Körperdrehung. Ist dieselbe kleiner, so spricht DELAGE von negativer, ist sie größer, von positiver Rollung der Augen. Positive Rollungswerte fand DELAGE nur dann, wenn die Drehung des Körpers einen gewissen Betrag, der zwischen 135 und

---

<sup>1</sup> DELAGE, YVES: Le mouvement de torsion de l'œil. Arch. zool. expér. et génér. 1903.

275 Grad, von der aufrechten Haltung ab gerechnet, liegen kann, überschritten hat. An diesem zweiten Resultat aber ist der Befund am wichtigsten, daß die Umschlagpunkte von negativer zu positiver Rollung für beide Augen in keinem Falle der gleichen Körperlage entsprechen, daß also bei einer bestimmten Körperlage die Richtungen der Rollungen der zwei Augen entgegengesetzt sein können. Drittens wurde festgestellt, daß die Rollungswerte für beide Augen verschieden ausfielen, je nachdem die entsprechende Körperlage durch Drehung nach der einen oder nach der anderen Seite erreicht worden war, daß also der Rollungswert von der Richtung der vorausgegangenen Körperdrehung abhängig war.

Differenzen in den Rollungen beider Augen sind von früheren Forschern nicht beschrieben worden; sind doch überhaupt meines Wissens vergleichende Messungen dieser Bewegungen beim Menschen bisher nicht unternommen, resp. publiziert worden. Keinem der früheren Forscher auf diesem Gebiete stand ein ähnlicher Apparat zur Verfügung, welcher vollständige Drehungen des ganzen Körpers auszuführen erlaubte und es somit ermöglichte, die Bewegungswerte der Augen für irgend eine Lage des Kopfes zu bestimmen. Es ist also kein Wunder, daß das Studium der älteren Literatur bezüglich der von DELAGE bearbeiteten Gesichtspunkte ergebnislos ist. Nur einige an Tieren ausgeführte Versuche berühren sich mit den von DELAGE mitgeteilten experimentellen Ergebnissen. Die Resultate dieser von NAGEL unternommenen Versuche tangieren indessen nur die Angabe DELAGES, welche das Vorkommen sowohl positiver wie negativer Raddrehungen der Augen behauptet. NAGEL<sup>1</sup> fand, daß die positiven Rollungen des Auges beim Frosch und Kaninchen anfangen, wenn der Körper um 200 Grad aus der Primärlage gedreht worden ist, und daß sie bei beiden Tieren andauerten bis die aufrechte Körperlage wieder erreicht war. Stets ergab sich in diesen Versuchen die positive Drehung erheblich kleiner als die vorausgehenden negativen, und diese Beobachtungen bestehen nach DELAGE auch für seine eigenen Augen vollkommen zu Recht.

Ganz neu sind nun alle diejenigen Resultate der Experimente DELAGES, welche Differenzen in den Rollungsbewegungen

<sup>1</sup> W. A. NAGEL. Über kompensatorische Raddrehungen der Augen. *Diese Zeitschrift* 12. S. 346—347.

beider Augen ergeben haben und welche eine Abhängigkeit der Richtung und GröÙe der Augendrehung von der Richtung der Körperdrehung angeben.

Wie schon angedeutet, beruht die Versuchsmethodik DELAGES auf dem Astigmatismus seiner Augen und zwar benutzte er die Eigenschaft dieser Refraktionsanomalie, daß Kreise in Ellipsenform auf der Netzhaut abgebildet werden. Die große Achse dieser Ellipse liegt natürlich immer in der Richtung des am schwächsten brechenden Hornhautmeridianes und die Drehung dieser Achse kann als Index für die Rollung des Bulbus dienen. Für den Versuch lieÙ sich DELAGE auf einem besonders konstruierten Stuhle festschnallen und konnte dann mit samt dem Stuhl um eine Achse gedreht werden, welche in sagittaler Richtung durch den Mittelpunkt der Verbindungslinie beider Augen gelegt zu denken ist. Vor den Augen wurde ein kleiner leuchtender Kreis erzeugt, dessen Zentrum auf der eben beschriebenen Drehungsachse lag. Dieser Kreis behielt also bei allen Drehungen des Körpers eine vollkommen konstante Lage im Verhältnis zu den Augen bei, und erschien bei Fixation dem unkorrigierten astigmatischen Auge als Ellipse, deren Achsenrichtung sich mit der Körperdrehung änderte. Als Maß für die kompensatorischen Rollungen der Augen benutzte DELAGE den Winkelunterschied, welcher zwischen dem Betrage der Körperdrehung und der Achsendrehung der Ellipse ermittelt wurde. Um die Ellipsendrehung genauer messen zu können, erzeugte DELAGE einen zweiten Lichtkreis in solchem Abstände vom dem erstbeschriebenen, daß bei gleicher Richtung der Hauptachsen der zwei ellipsenförmigen Netzhautbilder, deren beide Pole sich gerade berührten, daß also beide große Achsen gleiche Richtung hatten. Nach Ausführung einer Körperdrehung von irgend einem Betrage hatte ein Gehilfe den zweiten Kreis so lange herumzuführen, bis beide große Achsen der ellipsenförmigen Bilder dem Beobachter in gegenseitiger Verlängerung zu liegen schienen. Es versteht sich, daß bei den Ortsveränderungen des zweiten Kreises der Abstand zwischen den Zentren beider Kreise ungeändert bleiben mußte. Die Winkelverschiebung des zweiten Kreises um das Zentrum des ersten (Drehungsachse der Versuchsperson) konnte an einer Skala abgelesen werden und bildete direkt das Maß für die Drehung des Augapfels. Die Kompensationsbewegung war dann leicht zu berechnen.

Dafs die oben zitierten Ergebnisse der Untersuchungen DELAGES vielfache interessante und wichtige Beziehungen zu den Problemen der Physiologie der Gesichtswahrnehmungen haben, liegt auf der Hand. Gehen wir zunächst etwas näher auf das erste dieser Versuchsergebnisse ein, welches mir physiologisch am bedeutsamsten zu sein scheint und welches, wie erinnerlich sein wird, eine Verschiedenheit der Raddrehungen eines Auges von der des anderen bei gegebener Seitenneigung des Körpers behauptet. Die Richtigkeit dieser Angabe vorausgesetzt, wäre zu folgern, dafs die Muskelkoordinationen der Augen und die Projektionsrichtungen der beiden Netzhautbilder unter diesen Umständen wesentlich different sein müßten und erheblich von der Art des normalen Binokularsehens bei aufrechter Körperhaltung abweichen würden. Die Bilder, welche normalerweise auf korrespondierende Netzhautpunkte fallen, würden bei geneigtem Kopf nicht korrespondierende Punkte treffen. Es lag nahe, die sich hier bietende, sehr anziehende Gelegenheit zu benutzen, diejenigen Phänomene der Gesichtswahrnehmungen näher zu untersuchen, welche von der Modifikation der Muskelkoordination oder Reizung nicht korrespondierender Netzhautpunkte direkt beeinflusst werden müssen.

Auf Vorschlag von Herrn Professor NAGEL unternahm ich die nähere Untersuchung der aufgeworfenen Fragen und begann mit Experimenten über den Einfluß von Ungleichheit der beiderseitigen Raddrehungen auf die Genauigkeit der Tiefenwahrnehmung. Mit dem bekannten Dreistäbchenapparat von HELMHOLTZ (in der ihm von HEINE gegebenen Form) stellte ich zunächst die Genauigkeit meiner eigenen Tiefenschätzung bei aufrechter Körperhaltung und vertikaler Stäbchenstellung messend fest. Darauf wurden dieselben Versuche bei sonst gleichen Bedingungen nach Schulterneigung des Kopfes um 90 Grad und bei Horizontal-lage der Stäbchen wiederholt.

Zu meinem Erstaunen stellte sich der Unterschied in der Genauigkeit der Tiefenschätzung unter beiderlei Versuchsbedingungen in den vielfach wiederholten Experimenten als so minimal heraus, dafs sie kaum zahlenmäfsig angegeben werden können und wahrscheinlich auch gar nicht real vorhanden sind. Wenn man sich erinnert, dafs DELAGE eine Differenz von 9 Grad in den Kompensationsdrehungen zwischen beiden Augen bei 90 Grad Kopfdrehung nach rechts und von 4 Grad

bei 90 Grad Drehung nach links feststellte, so mußte das Ergebnis meiner Messungen wohl befremdend genug erscheinen und es war wohl selbstverständlich, daß sofort Zweifel an der Richtigkeit der DELAGESchen Resultate oder doch an ihrer allgemeinen Gültigkeit aufkamen.

Allerdings prüfte DELAGE ja in seinen Versuchen jedes Auge einzeln, während bei meinen Experimenten über die Tiefenschätzung beide Augen gleichzeitig funktionierten. Es wäre zunächst sehr wohl möglich gewesen, daß tatsächlich jedes Einzelauge bei isolierter Tätigkeit, ganz wie DELAGE angibt, seine besondere Rollung zeigen würde, daß dagegen eine Ausgleichung der Differenzen erfolgen könnte, wenn beide Augen gleichzeitig am Sehen beteiligt sind und koordiniert arbeiten müssen. Es ist ja bekannt, daß die Muskelzustände des einen Auges nicht ganz unabhängig von den Sehfunktionen mit den Bewegungen des anderen Auges absolut präzise verknüpft sind: man denke nur an den bekannten Versuch, daß, wenn ein oder beide Augen verdeckt gehalten und dann plötzlich freigegeben werden, oft Doppelbilder, wenn auch nur vorübergehend, zur Beobachtung gelangen. Dieses Phänomen beruht zweifellos auf den beiderseits verschiedenen muskulären Gleichgewichtszuständen, welche sich erst ausgleichen, wenn beide Augen gleichzeitig in Sehfunktion treten. Um die Bedeutung dieser Faktoren bezüglich meiner und der DELAGESchen Versuche klarzustellen, machte ich einige einfache Versuche, welche nach Maßgabe der eingehaltenen Bedingungen in zwei Kategorien zerfielen. Bei einer ersten Reihe von Versuchen hatten die Augen während der Ausführung der Körperneigung dauernd ein Objekt zu fixieren, bei einer zweiten Reihe dagegen blieben die Augen in ihren beiderseits verschiedenen Gleichgewichtszuständen und wurden nicht durch die Aufgabe binokular zu fixieren in eine bestimmte Zwangsstellung gebracht.

Wenn man den Kopf, ausgehend von der Vertikallage, allmählich nach einer Schulter hinneigt, und während dieser Bewegung eine gerade Linie dauernd fixiert, dann erscheint diese Linie weder doppelt noch unscharf. Dieses Resultat steht im Widerspruch zu den Versuchsergebnissen DELAGES, denn wenn infolge der beiderseits ungleichen Raddrehungen der Augen nicht korrespondierende Netzhautstellen erregt worden wären, so hätte Doppelsehen auftreten müssen. Erzeugt man ferner Doppel-

bilder einer Lichtlinie, indem man dieselbe nahe dem Auge anbringt, dabei aber einen entfernten Punkt fixiert, und neigt man jetzt unter Festhaltung des fixierten Punktes den Kopf zur Seite, so müßten, wenn die Rollungen tatsächlich beiderseits ungleich sind, gekreuzte oder wenigstens unparallele Doppelbilder der Lichtlinie wahrzunehmen sein. Von etwas derartigem fand ich nichts, selbst wenn ich den Kopf nach links oder nach rechts um mehr als 135 Grad aus der Vertikalstellung gedreht hatte.

Auch die Ergebnisse meiner Versuche, bei welchen die Gleichgewichtslage der Augen beibehalten wurde, fielen nicht derart aus, daß sie eine Stütze der Angaben DELAGES bilden könnten. Wenn nach Seitwärtsneigung des Kopfes die accommodationslos auf eine Lichtlinie gerichteten Augen entweder beiderseits oder nur auf einer Seite verdeckt und dann plötzlich frei gegeben werden, so erscheinen die vorübergehend zu beobachtenden Doppelbilder weder gekreuzt noch gegeneinander geneigt; sie sind vielmehr vollkommen parallel.

Man kann die Versuchsmethodik noch vielfach modifizieren. Ich will indessen den Leser hier nicht durch Beschreibung zu vieler Einzelheiten ermüden, und erwähne nur, daß alle Versuche Resultate ergaben, welche mit den letzterwähnten in vollem Einklang stehen. Nach alledem kann man mit Sicherheit behaupten, daß alle sekundären Phänomene, welche bei beiderseits ungleicher Rollung auftreten müßten, niemals zur Beobachtung gelangten.

Es war nun meine Aufgabe durch direkte Messung der Kompensationsdrehungen die Frage direkt anzugreifen und dadurch die Lösung der Differenzen zwischen meinen bisherigen Versuchsergebnissen und denen DELAGES anzubahnen.

Ich ging also daran, die Rollungen beider Augen bei Seitenneigungen des Kopfes bis zu 170 Grad Abweichung von der Vertikalen zu messen. Ich mußte darauf verzichten, die Versuchsanordnung DELAGES nachzuahmen und danach vorzugehen, weil keine Versuchsperson mit hinreichend astigmatischen Augen zu finden war. Der Entschluß zu diesem Verzicht war leicht, denn die von mir benutzte, schon früher vielfach erprobte Versuchsmethode liefs von vornherein weit präzisere Resultate erwarten, als die DELAGES. Sie war schon deshalb vorzuziehen, weil ihrer Anwendung nicht eine Abnormität der Augen zum Ausgangspunkt dient, und weil sich die Richtigkeit der Resultate



mit Leichtigkeit durch Wiederholung der Versuche an vielen Personen kontrollieren läßt.

Ich verfuhr im wesentlichen folgendermaßen:

Zunächst wurde bei aufrechter Kopfhaltung monokular das Nachbild einer genau vertikalen Lichtlinie erzeugt. Dann wurde bei der gewünschten Seitenneigung des Kopfes das Nachbild auf eine entfernte schwach beleuchtete vertikale Wand projiziert. Die Winkeldifferenz zwischen dem Grade der Kopfdrehung und der Neigung des projizierten Nachbildes ergibt ohne weiteres ein richtiges Maß für die Rollung des Auges. Denn das projizierte Bild ändert bekanntlich seine Richtung in demselben Maße und demselben Sinn, wie der Netzhautmeridian, auf welchem es liegt.

Noch einige Einzelheiten des Verfahrens möchte ich hervorheben. Die Fläche, auf welche das Nachbild projiziert wurde, wurde durch einen großen weißen Karton gebildet, auf den ein graduierter Kreis ( $1\frac{1}{2}$  m Radius) gezeichnet war. Der schwarz markierte Mittelpunkt des Kreises diente als Fixiermarke, und der Abstand zwischen Projektionsfläche und Versuchsperson betrug 6 m. Der Kopf der Versuchsperson wurde zuerst bei der Imprägnierung des Nachbildes in genau aufrechter Stellung vermittels eines Beißbrettes festgehalten. Das Beißbrett, welches um eine zur Ebene der Projektionsfläche senkrechte Achse drehbar war, war so ausgerichtet, daß Nasenwurzel, Halbierungspunkt der das Primärbild ausmachenden Lichtlinie, und Fixiermarke der Projektionsfläche in einer Linie lagen. Die fixierte Lichtlinie befand sich in einem Abstand von etwa 3 m von der Versuchsperson. War nach mehrere Sekunden dauernder Fixation ein gutes Nachbild gewonnen, so wurde die Lichtlinie ausgelöscht und beseitigt, das Beißbrett um den gewünschten Winkel gedreht und die Zähne dem Brett in seiner neuen Lage wieder angepaßt. Wenn jetzt der Mittelpunkt des Kreises auf der Projektionsebene fixiert wurde, so mußten dieser und der Halbierungspunkt des projizierten Nachbildes aufeinanderfallen. Ein Gehilfe legte an den Karton einen Stab derart an, daß dessen einer Rand durch das Zentrum des Kreises lief, und drehte denselben als Radius vector auf Signale des Beobachters so lange, bis das projizierte Nachbild mit dem Rand des Stabes völlig zusammenfiel. Da der Grad der Kopfneigung bekannt war, konnte jetzt die Winkelgröße der Rollung direkt an der

Kreisskala abgelesen werden. Derselbe Versuch wurde sofort anschliessend mit dem anderen Auge gemacht und dann das gleiche Verfahren für die gleiche, aber entgegengesetzt gerichtete Kopfneigung wiederholt.

In der folgenden Tabelle sind die Resultate dieser Messungen verzeichnet: In der ersten Kolumne sind die Winkelgrößen der Kopfdrehung angegeben. Die folgenden Doppelkolumnen enthalten die Einstellungen der verschiedenen Versuchspersonen und zwar sind die für das rechte Auge gültigen Werte in der ersten, die für das linke Auge in der zweiten Halbkolumne jedesmal angegeben; die hier reproduzierten Zahlen sind als Differenz zwischen dem Grad der Körperdrehung und dem Grad der Drehung des projizierten Nachbildes berechnet, geben also den Betrag der kompensatorischen Raddrehungen an. Als Versuchspersonen dienten Herr Professor Dr. NAGEL (*N*), Herr Dr. PIPER (*P*) und ich (*A*). Um den Vergleich mit den Resultaten DELAGES zu erleichtern und anschaulich zu machen, habe ich die von diesem Forscher gefundenen Werte in die letzte Doppelkolumne aufgenommen. Die Herren Prof. NAGEL und Dr. PIPER machten nur Einstellungen bei Körperdrehungen von 90 Grad seitwärts. Für mich betrug die grösste, im Stehen erreichbare Seitendrehung des Kopfes 135 Grad. Aber es gelang mir auch Messungen bei Körperdrehung von 170 Grad durchzuführen. Bei diesen letzten Versuchen mußte ich mich auf einen Tisch legen und den Kopf über den Rand desselben niederneigen. Um einen Vergleich zwischen diesen letzten Werten und den Zahlen DELAGES zu ermöglichen, habe ich die Rollungswerte in die Tabelle aufgenommen, welche er bei 165 Grad und 180 Grad Körperneigung gewann. Bei 170 Grad Neigung hat er keine Bestimmungen ausgeführt.

(Siehe Tabelle auf S. 243.)

Alle Einstellungen, welche von Herrn Dr. PIPER bei Kopfneigung um 90 Grad nach rechts erhalten wurden, und alle von mir bei 90 Grad Neigung erzielten, sind zur Berechnung der in der Tabelle reproduzierten Durchschnittswerte benutzt worden. Alle übrigen in der Tabelle enthaltenen Werte geben die direkt abgelesenen Winkelgrößen der Einzelbestimmungen wieder. Bezüglich der Berechnung der Durchschnittswerte will ich nicht unerwähnt lassen, daß die grösste mittlere Abweichung niemals



| Größe der<br>Körper-<br>neigung in<br>Winkel-<br>graden | Rollungswerte der Augen     |        |       |       |        |        |                            |       |        |        |       |       |
|---|-----------------------------|--------|-------|-------|--------|--------|----------------------------|-------|--------|--------|-------|-------|
|   | bei Kopfneigung nach rechts |        |       |       |        |        | bei Kopfneigung nach links |       |        |        |       |       |
|   | N                           |        | P     |       | A      |        | N                          |       | P      |        | A     |       |
|   | R                           | L      | R     | L     | R      | L      | R                          | L     | R      | L      | R     | L     |
| 45°   | — 12,5                      | — 12,5 | — 8,4 | — 8,7 | — 7,8  | — 7,8  | — 8,8                      | — 9,6 | — 10,9 | — 10,7 | — 9,0 | — 8,6 |
| 90°   | — 16,4                      | — 15,3 |       |       | — 8,2  | — 7,3  | — 8,8                      | — 9,6 |        |        | — 8,8 | — 8,6 |
| 135°  |                             |        |       |       | — 13,9 | — 13,6 |                            |       |        |        | — 7,6 | — 7,6 |
| 165°  |                             |        |       |       | — 5,4  | — 5,4  |                            |       |        |        |       |       |
| 170°  |                             |        |       |       | — 5,2  | — 4,6  |                            |       |        |        | +     | 7,5   |
| 180°  |                             |        |       |       |        |        |                            |       |        |        | +     | 12,0  |
|   |                             |        |       |       |        |        |                            |       |        |        |       | — 3,0 |

Die negativen Rollungswerte sind mit Minus, die positiven mit Pluszeichen versehen.

mehr als 0,6 Grad betrug und daß die Differenz der Werte, welche zwischen den Drehungen beider Augen einer Versuchsperson gefunden wurde, die Größe von 1,1 Grad (Prof. NAGEL) überschritt. Aber auch in diesem Falle dürfte es sich wohl nur um eine zufällige Unsicherheit in der Beobachtung handeln, denn bei allen anderen Versuchen, welche dieselbe Versuchsperson bei gleicher Kopflage ausführte, waren die Rollungswerte für beide Augen identisch.

Die Berechnung der Durchschnittsdifferenz aller Werte ergibt die Zahl 0,35 Grad. Wenn man bedenkt, daß die Beobachtungen aus einem Abstand von 6 m gemacht wurden, und ferner zur Kenntnis nimmt, daß die kleinen Unterschiede in den Einstellungen niemals größer ausgefallen sind, als die scheinbare Breite des projizierten Nachbildes betrug, so wird man zugeben müssen, daß die Genauigkeit der Messungen allen Anforderungen gerecht wird. Zweifellos sind die erwähnten kleinen Fehler in der Methodik begründet und können mit Recht als gänzlich irrelevant vernachlässigt werden. Nimmt man hinzu, daß nach den oben beschriebenen Vorversuchen, welche das von der Gleichheit resp. Ungleichheit der Rollungen offenbar abhängige Phänomen der Tiefenwahrnehmung betrafen, ganz im gleichen Sinne ausgefallen sind, wie die letzterwähnten Messungen, so wird man nicht zu weit gehen, wenn man behauptet, daß in den Grenzen der hier innegehaltenen Versuchsbedingungen die kompensatorischen Rollungen des einen und die des anderen Auges sich stets als völlig identisch erwiesen haben.

Man kann aber mit einem gewissen Recht noch weiter gehen und behaupten, daß die Rollungen beiderseits für jede Kopflage ebenfalls gleich sind. Nach allen diesen Ergebnissen bleibt von der zuerst vermuteten außerordentlichen Bedeutsamkeit der Befunde DELAGES für die Physiologie der Gesichtswahrnehmungen nicht viel übrig, so viel ich sehen kann, gar nichts, wenn es sich in den Versuchen um Körperlagen handelt, bei welchen dauernde Beobachtung überhaupt noch möglich ist.

Es wird jetzt am Platze sein, auf einen weiteren Punkt der DELAGESchen Untersuchungen noch etwas näher einzugehen. Außer den erwähnten erheblichen Unterschieden, welche DELAGE

zwischen den kompensatorischen Drehungen beider Augen fand, stellte er des weiteren fest, daß für bestimmte Kopflagen die Richtung, in welcher sich die Rollungen vollziehen, beiderseits verschieden sein können. Er unterscheidet demnach negative und positive Rollungen, je nachdem die Augendrehung der Körperneigung an Gröfse nachsteht oder ihr vorausseilt. Naturgemäß ist bei diesen Versuchen die Richtung oder der Weg von Bedeutung, auf welchem der Kopf die Seitenlage erreicht hat. Daß bei Kopfeignungen nicht allzu erheblichen Grades die Rollungen negativ, d. h. „kompensatorisch“ sind, ist ja lange bekannt. Es ist aber zweifellos von Interesse, nachdem einmal nachgewiesen ist, daß bei hochgradigen Körperneigungen positive Drehungswerte vorkommen, festzustellen, an welcher Stelle der ganzen Umdrehung bei der einen und der anderen Bewegungsrichtung der Körperneigung die Umschlagspunkte von negativer zu positiver Rollung des Auges liegen. DELAGE fand, daß bei Drehung des Kopfes um 165 Grad nach links die Rollung seines rechten Auges schon einen positiven Wert von 7,5 Grad besaß, und bei gleicher Kopfdrehung nach rechts die Drehung des linken Auges schon gleich Null war. Der Umschlagspunkt für das linke Auge lag bei einer Körperneigung von 210 Grad nach links und für das rechte Auge bei einer Körperneigung nach rechts um 275 Grad.

Es ist natürlich nicht zu erwarten, daß die Umschlagspunkte für meine Augen genau mit denen für DELAGE gültigen übereinstimmen, daß aber bis zu Körperdrehungen von 170 Grad die Rollung meiner Augen erstens beiderseits vollkommen gleich und zweitens beiderseits negativ ausfallen, während bei gleicher Körperlage die Rollung des einen Auges von DELAGE schon positiv, die des anderen aber negativ gefunden wurde, — diese Verschiedenheit der Befunde läßt im Zusammenhang mit den oben erwähnten Vorversuchen die Vermutung wohl begründet erscheinen, daß sich DELAGE auch hier wieder entweder im Irrtum befindet, oder, daß seine Augen keineswegs normal funktionieren. Ich kann das Ergebnis meiner Beobachtungen dahin zusammenfassen, daß bei den von mir benützten Neigungsgraden beide Augen stets sowohl der Richtung, wie der Gröfse nach ganz übereinstimmende Rollungsbewegungen ausführten.

Das dritte Ergebnis seiner Arbeit, nach welchem die Gröfse

und die Richtung der Rollung nicht nur von der Kopflage, sondern auch von der Richtung, nach welcher sich der Kopf zur Erreichung dieser Lage gedreht hat, abhängen soll, wird durch meine Untersuchung nicht unmittelbar berührt. Was diesen Punkt betrifft, so halte ich es sehr wohl für möglich, sogar für wahrscheinlich, daß DELAGE hier das Richtige getroffen hat.

Wurde in seinen Versuchen der Körper successive nach einer Seite (etwa nach rechts) durch volle 360 Grad gedreht, so blieb zuerst die Augendrehung um einen gewissen Betrag hinter der Körperdrehung zurück; es handelte sich also um die bekannten negativen Kompensationsbewegungen des Bulbus. Hatte die Körperlage einen bestimmten Punkt der ganzen Umdrehung passiert — einen Punkt, welcher je nach den speziellen Versuchsbedingungen zwischen 165 und 275 Grad liegen konnte und oben als Umschlagspunkt bezeichnet wurde — so traten positive Rollungen auf, d. h. die Drehung des Auges hatte jetzt die Körperdrehung, von der Ausgangslage in der Drehungsrichtung gerechnet, um einen gewissen Betrag überholt. Die Größen der positiven Rollungen waren stets erheblich geringer als die Werte der vorausgegangenen, geringeren Körperdrehungen entsprechenden, negativen Kompensationsbewegungen. Wurde der Körper in umgekehrter Richtung (nach links) gedreht, so traten bei Drehung bis zum Umschlagspunkt wieder negative Rollungen des Auges auf. Diese übertrafen aber an Wert erheblich die der gleichen Körperlage entsprechenden positiven Werte, welche bei der früheren Bewegungsrichtung des Körpers (nach rechts) gefunden waren. War bei der neuen Bewegungsrichtung (nach links) der Umschlagspunkt passiert, so erwiesen sich die jetzt gefundenen positiven Rollungswerte kleiner als die vorher bei gleicher Richtung aber geringerer Größe der Körperdrehung gefundenen negativen Werte und ebenfalls kleiner als die negativen Rollungswerte, welche der gleichen Körperlage bei entgegengesetzter Bewegungsrichtung (nach rechts) entsprachen.

Gewisse Befunde, welche NAGEL<sup>1</sup> nach Versuchen am Kaninchen und am Frosch zu verzeichnen hat, berühren sich mit den eben referierten Angaben DELAGES. NAGEL fand die Größe der positiven Rollungen (Umschlagspunkt bei etwa

---

<sup>1</sup> l. c. S. 352.

200 Grad Kopfdrehung) bedeutend kleiner als die negativen, welche bei Körperdrehungen geringeren Grades beobachtet worden waren. Setzt man voraus, daß die positiven Rollungen des menschlichen Auges nur sehr geringe Werte haben, und beachtet man die Tatsache, daß in meinen Versuchen die negativen Drehungen beider Augen bei Körperdrehung nach der einen wie der anderen Richtung ungefähr gleich groß gefunden wurden, so darf man vielleicht mit aller Reserve die Feststellung NAGELS an Tieren auch mit zu dem Schluß heranziehen, daß auch bei Menschen Richtung und Größe der Rollung des Auges nicht nur von der Größe, sondern auch von der Richtung der Kopfdrehung abhängig sind.

Übrigens bleibt die Frage offen, ob es sich bei den ersten Augeneinstellungen unmittelbar nach Ausführung der Körperdrehung nur um vorübergehende Erscheinungen handelt, und ob nicht nachher für jede bestimmte Körperlage eine einzige bestimmte Augenstellung erreicht wird, welche unabhängig von Richtung und Weg der vorausgegangenen Körperdrehung gewonnen wird.

Da mir für die Physiologie der Gesichtswahrnehmungen die von DELAGE behauptete Verschiedenheit der beiderseitigen Kompensationsdrehungen weitaus das wichtigste Resultat seiner Untersuchung zu sein schien, und meinem ursprünglichen Plane gemäß meine Versuche sich nur auf diese Frage erstrecken sollten, so habe ich diese Arbeit nur so weit ausgedehnt, als nötig war, um die Unhaltbarkeit der hierauf bezüglichen Resultate DELAGES wenigstens in ihrer allgemeinen Fassung darzutun.

Man könnte wohl den Einwand gegen meine Schlüsse erheben, daß ich nach anderer Methode als DELAGE gearbeitet habe und somit den alten Grundsatz JOHANNES MÜLLERS gegen mich ins Feld führen, daß die Unrichtigkeit wissenschaftlicher Behauptungen nur strikte bewiesen sei, wenn die Kontrolluntersuchung nach genau gleicher Methode wie die des Kontrahenten ausgeführt ist. Es war indessen wie gesagt nicht möglich, eine geeignete Versuchsperson zu finden. Aber selbst wenn ich eine solche hätte finden können, so hätte ich mich doch nie ohne die Kontrolle durch die weit vollkommenere Methode zufrieden gegeben. Es liegt ja auf der Hand, daß die Einstellung zweier Ellipsen in solche Lage zueinander, daß ihre langen Hauptachsen eine gerade Linie bilden, nicht sehr präzise ausgeführt werden

kann, zumal wenn man bedenkt, daß es sich in diesem Falle nicht um sehr flache Ellipsen gehandelt haben kann. (Nach den Figuren DELAGES scheint das Achsenverhältnis etwa 1 : 2 gewesen zu sein.) Daß eine Arbeitsmethode, bei welcher zwei gerade Linien zur Koinzidenz gebracht werden, weit präziser arbeiten muß und der Anordnung DELAGES weit überlegen ist, braucht kaum gesagt zu werden. Auch ist daran zu erinnern, daß DELAGE gerade bei solchen Körperstellungen die größten Differenzen zwischen den Rollungen beider Augen fand, welche subjektiv als höchst unbequem und unangenehm empfunden werden.

Von den beiden Möglichkeiten, daß nämlich DELAGES Resultate entweder auf unrichtiger Beobachtung beruhen oder daß seine Augen nicht nur in ihrer Refraktion, sondern auch in ihrer ganzen Muskelkoordination abnorm funktionieren, halte ich die letztere für wahrscheinlicher, denn in einigen Fällen erwies sich die Verschiedenheit zwischen beiden Augen als so hochgradig (bis zu 21 Grad), daß Täuschungen ausgeschlossen erscheinen. In anderen Versuchen fand er über Erwarten niedrige oder sogar Nullwerte. So hochgradige Fehler kann man kaum auf Irrtümer in der Versuchsanordnung und im Ablesen der Werte zurückführen, sondern muß vermuten, daß es sich um abnorme Verhältnisse handelt.

Zum Schluß sei es mir gestattet, einem Einwand gegenüber der Methodik meiner Versuche entgegenzutreten, welcher auf einer, wie ich glaube, falschen Deutung des ganzen Phänomens beruhen würde, des Phänomens nämlich, daß die Neigung einer vertikalen Linie hinter der Neigung des Kopfes zurückbleibt. Schon HELMHOLTZ hat diese Erscheinung eingehend untersucht und beschrieben und bezeichnet sie als eine Täuschung, welche durch die Unterschätzung der Seitenneigung des Kopfes bedingt sei. Andere Forscher haben die ganze Frage in Connex mit dem sog. AUBERTSchen Phänomen abgehandelt, welches bekanntlich darin zum Ausdruck kommt, daß eine vertikale Linie bei Seitenneigung des Kopfes im sonst dunklen Zimmer fixiert, nicht vertikal, sondern schief zu stehen scheint. BOURDON<sup>1</sup> hat neuerdings darauf hingewiesen, daß das Zurückbleiben des Nachbildes hinter der Körperdrehung nicht Täuschung sei, sondern tatsäch-

<sup>1</sup> BOURDON. La perception visuelle de l'espace. Paris 1902. S. 169.



lich vorhanden sei. Die frühere Deutung ist jedoch von CRYN<sup>1</sup> auch nach dem Erscheinen der BOURDONSCHEN Darlegungen festgehalten worden, und durch die Tatsache näher begründet worden, daß bei dem AUBERTSCHEN Phänomen die Schiefstellung der Linie der Richtung der Kopfdrehung entgegengesetzt ist, während das Nachbild im gleichen Sinne wie die Kopfdrehung wandert. CRYN betrachtet dieses Argument als fundamental und als beweisend dafür, daß die zwei Täuschungen nicht in gleicher Weise erklärt werden können; und mit dieser Behauptung als Ausgangspunkt arbeitet er eine eigene Theorie über diese Art von Täuschungen aus. Meines Erachtens gehören die beiden fraglichen Phänomene keineswegs in die gleiche Kategorie. Bei der AUBERTSCHEN Täuschung nämlich scheint die leuchtende Linie eine von der wirklichen erheblich abweichende Richtung zu haben, d. h. sie scheint in eine Ebene projiziert zu sein, welche mit der wirklichen Projektionsebene des Netzhautbildes einen Winkel bildet. Ganz anders liegen die Erscheinungen bei der Beobachtung des Nachbildes. Hier stimmt die Projektionsebene des Nachbildes vollständig mit der des Netzhautbildes des objektiven Gegenstandes, nämlich des Randes des Maßstabes, überein. Das Phänomen ist daher keineswegs als Täuschung aufzufassen, sondern gibt uns ein präzises Maß für das Zurückbleiben des Netzhautbildes und deshalb ein Maß für die Rollung des Auges.

---

<sup>1</sup> CRYN, E. v. Beiträge zur Physiologie des Raumsinns. *Pflügers Archiv für Physiologie*, 8. 218—221, 230—250.

(Eingegangen am 11. August 1904.)

---