Ueber die Funktion der vertikalen Bogengänge.

Von Dr. R. Schilling.

Die Erkenntnis, daß der Bogengangsapparat ein Sinnesorgan für die Orientierung im Raume und die Regulierung des Gleichgewichts ist, verdanken wir Goltz (1870), welcher sich vorstellte, daß die in drei Dimensionen des Raumes angeordneten Bogengänge die Schwerkraft in drei Komponenten zerlegen und durch den Druck auf die Sinnesendstellen uns das Gefühl der Lage des Kopfes im Raume zum Bewußtsein bringen. Dieser statischen Auffassung der Bogengangsfunktion stellten Mach und Breuer später eine statisch-kinetische Theorie entgegen, nach welcher im Vestibularapparat zwei Sinnesorgane vereinigt sind, von welchen das eine, der Statolithenapparat (Sacculus und Utriculus), uns die Lageempfindung im Raum und außerdem die Progressivbeschleunigung vermittelt, das andere aber, die Bogengänge, auf die Winkelbeschleunigung bei der Drehung reagiert und uns diese als das Gefühl der erlangten Winkelgeschwindigkeit zum Bewußtsein bringt.

Auch heute noch stehen wir auf dem Boden der Mach-Breuer'schen Theorie, wenn auch eine Reihe von Fragen aufgetaucht ist, welche durch sie noch nicht oder nicht vollständig beantwortet werden.

¹⁾ Nachrichtendienst über Kleinkinderfürsorge, Juli/Aug. 1919 Nr. 36/37. — ²⁾ M. m. W. 1909 Nr. 9. — ³⁾ B. kl. W. 1917 Nr. 48, 49 und 50. — ⁴⁾ Vortrag in der Medizinischen Gesellschaft in Freiburg am 20. I. 1920.

Mit einigen dieser Fragen, so der physikalischen Kräfteverteilung in beiden Labyrinth, der Funktion der vertikalen Bogengänge und des Zusammenwirkens der beiderseitigen Bogengänge, habe ich mich im Laufe der letzten Jahre beschäftigt und möchte heute insbesondere über das Ergebnis meiner Untersuchungen über die vertikalen Bogengänge berichten.

Es sind hauptsächlich zwei Erscheinungen, welche durch Reizung der Bogengänge ins Leben gerufen werden, erstens die subjektiven Empfindungen der Drehung und Scheindrehung und zweitens die objektiv wahrnehmbaren Reaktionsbewegungen der Augen, des Kopfes, des Rumpfes und der Extremitäten. Die ersten sind wegen der den subjektiven Erscheinungen überhaupt anhaftenden Schattenseiten und ihrer tatsächlichen Inkonsistenz weniger geeignet für exakte Untersuchungen, während hierfür die oszillatorischen Bewegungen der Bulbi als das genaueste, konstanteste und meßbare Reagens auf die Bogengangsreizung stets bevorzugt worden sind.

Die ältestbekannte Bezeichnung zwischen Nystagmus und Bogengangsreizung betrifft eine Beobachtung, welche schon Flourens im Jahre 1828 gemacht und welche sich im Laufe der Zeit zur Bedeutung eines allgemein anerkannten Gesetzes verdichtet hat. Sie besagt, daß der Nystagmus in der Ebene des gereizten Bogengangs schlägt. Die Anwendung dieses Gesetzes stößt auf keine Schwierigkeiten, wenn wir die horizontalen Bogengänge ins Auge fassen. Denn der horizontale Nystagmus schlägt in der beiden Augenachsen gemeinsamen und mit der Horizontalebene des Schädels übereinstimmenden Ebene, in welcher annähernd auch die horizontalen Bogengänge liegen. Allerdings bedarf das Flourenssche Gesetz auch hier schon einer Einschränkung, indem in Wirklichkeit die horizontalen Bogengänge sich nach vorn und seitlich über die Horizontalebene des Schädels erheben, bei der Taube nach Ewald um 20°, beim Menschen um 15–30°.

Sehr viel komplizierter gestalten sich diese Verhältnisse jedoch für die vertikalen Bogengänge. Denn die für die vertikalen Bewegungen der Bulbi in Betracht kommenden Ebenen gehören nicht einer gemeinsamen Ebene an, wie das bei den horizontalen Bewegungen der Bulbi der Fall ist, sondern bilden unter sich und mit der Mediane Ebene Winkel, welche in weiten Grenzen schwanken¹⁾. Der Winkel, welchen die Augenachsen und damit auch die Schlägen der vertikalen Nystagmus mit der Mediane Ebene bilden, kann in der Säugetierreihe alle Werte haben von 5° bis 85°. Beim Menschen beträgt z. B. dieser Winkel, eigentlich der halbe Hornhautwinkel, nach Pütter 5°, beim Löwen zirka 15°, beim Pferd 55°, beim Ameisenfresser 60°, beim Wasserschwein 75°. Bei den meisten Fischen und Vögeln beträgt er 80–85°.

Auch der Winkel, welchen die vertikalen Bogengänge mit der Mediane Ebene bilden, schwankt bei verschiedenen Tieren ziemlich stark. Er beträgt bei der Taube nach Ewald ziemlich genau 45°, nach Hasse jedoch ist der obere Bogengang mehr der Sagittalebene, der hintere mehr der Frontalebene parallel. Nach einer Zeichnung Breuers beträgt bei der Meise der erstgenannte Winkel 50°, der letztgenannte 30°. Nach Denker fallen beim Wasserschwein und Ameisenfresser die oberen Bogengänge nahezu mit der Mediane Ebene, die hinteren mit der Frontalebene zusammen, während beim Leopard die oberen Bogengänge der Frontalebene, die hinteren Bogengänge der Mediane Ebene stark genähert sind.

Wollten wir das Flourenssche Gesetz auf diese mannigfachen, in der Natur vertretenen Möglichkeiten genau anwenden, so würde dies zu durchaus verschiedenen Ergebnissen führen. In einem Falle, wo die Augenachsen sowohl als auch die Bogengänge einen Winkel von 45° mit der Mediane Ebene bilden, müßte die Reizung eines vertikalen Bogenganges in dem einen Auge vertikalen, im andern rotatorischen Nystagmus erzeugen. Da, wo die Augenachsen und die Bogengänge mit der Median- bzw. Horizontalebene nahezu zusammenfallen, müßte die Reizung eines vertikalen Bogenganges in beiden Augen gleichartigen Nystagmus (beim Wasserschwein z. B. die Reizung eines hinteren Bogengangs in beiden Bulbi vertikalen Nystagmus) hervorrufen.

Diese, auf anatomischer Grundlage gewonnenen Erwägungen zeigen, daß eine konstante Beziehung zwischen Bogengangsstellung und Augenachsenwinkel nicht besteht, und lassen die volle Gültigkeit des Flourensschen Gesetzes für die vertikalen Bogengänge als zweifelhaft erscheinen.

Welche Antwort geben uns nun die tierexperimentellen Untersuchungen? Kubo hat im Jahre 1905 und 1906 am Kreidlischen Physiologischen Institut in Wien an Kaninchen und Tauben und an der Zoologischen Station in Triest an Fischen (Haifischen, Rochen, Torpedos u. a.) ausgedehnte Bogengangsexperimente vorgenommen, indem er die freigelegten Bogengänge teils thermisch mit kalten und heißen Stäbchen, teils mechanisch mit einer Pinzette oder Borste reizte. Während die Reizung der horizontalen Bogengänge bei allen Versuchstieren horizontalen Nystagmus erzeugte, war das Ergebnis der Reizung der vertikalen Bogengänge sehr verschieden. Auf thermische Reize reagierten die Bogengänge der Fische fast gar nicht. Auf mechanische Reizung erfolgte bei sämtlichen Fischen bei Reizung des vorderen Bogengangs eine Rückbewegung des nasalen Bulbuspols nach oben hinten, bei Reizung des hinteren Bogengangs derselben Seite eine Rückbewegung desselben Poles nach unten vorne,

also beide Male in einer (diagonalen) Ebene, welche mit der Vertikalebene der Augenachsen einen gewissen Winkel bildet. Manchmal waren diese Bewegungen auch rotatorisch, also senkrecht zur Bulbusachse.

Beim Kaninchen fielen die Reaktionen an den vertikalen Bogengängen sehr verschieden aus, bald traten horizontale, bald vertikale, bald Rollbewegungen, bald diagonale Bewegungen der Bulbi auf.

Die konstantesten Resultate ergaben die Versuche an Tauben. Bei ihnen erzeugte die Reizung des vorderen Bogengangs rotatorischen, die Reizung des hinteren Bogengangs vertikalen Nystagmus.

Die konstantesten Resultate zeigten demnach Tiere, welche auf ein fein arbeitendes Gleichgewichtsorgan angewiesen sind, wie die Fische und besonders die Vögel; schwankende Resultate dagegen die auf ihr Gleichgewichtsorgan weniger angewiesenen Kaninchen. Keineswegs zeigen aber die Versuche eine durchgehende Uebereinstimmung von Bogengangsebene und Schlagebene des Nystagmus.

Bei Tieren mit parallelstehenden Augen sind isolierte Bogengangsreizungen noch nicht gemacht worden. Auch beim Menschen ist es bis jetzt noch nicht gelungen, die vertikalen Bogengänge isoliert zu reizen. Vom horizontalen Bogengang wissen wir durch die Drehversuche, daß er horizontalen Nystagmus erzeugt. Von den vertikalen Bogengängen ist uns zwar auch bekannt, daß der durch sie bedingte Nystagmus in einer vertikalen Ebene schlägt. Wir wissen aber nicht, auf welchen vertikalen Bogengang die bekannten Hauptformen des vertikalen Nystagmus jeweils zu beziehen sind, nämlich der in der Längsachse der Bulbi schlagende, gemeinhin als vertikaler (besser sagittaler) bezeichnete Nystagmus und der in der Frontalebene des Schädels schlagende, um die Längsachse des Bulbus rotierende rotatorische Nystagmus. Auch die Entdeckung des kalorischen Nystagmus durch Bárány, die uns eine isolierte Labyrinthreizung ermöglichte, hat die Hoffnung, durch sie vielleicht noch eine weitere Differenzierung und isolierte Bogengangsreizung zu erzielen, nicht erfüllen können, wohl aber gibt sie uns einen Hinweis auf die Lösung dieser Frage. Da wir mit dem Temperaturgefälle nur den horizontalen und gleichzeitig meist noch die Ampulle des oberen Bogengangs erreichen, kaum aber den hinteren Bogengang, der durch eine dicke Gewebsschicht von der Abkühlungsfläche getrennt ist, und da wir bei der kalorischen Prüfung stets horizontalen oder rotatorischen oder gemischt rotatorisch-horizontalen, niemals aber vertikalen Nystagmus erhalten, so liegt es nahe, den vertikalen Nystagmus per exclusionem dem hinteren Bogengang und, bei der feststehenden Funktion des horizontalen Bogengangs, den rotatorischen Nystagmus dem oberen Bogengang zuzuschreiben.

In einigen Fällen gelang es mir, diese beiden Funktionen zu trennen, indem der in Optimumstellung des horizontalen Bogengangs erzeugte, gemischt horizontal-rotatorische Nystagmus beim Übergang in die Pessimumstellung einem reinen rotatorischen Nystagmus Platz machte, was während derselben Prüfung mehrmals wiederholt werden konnte.

Ich habe nun versucht, dieser Frage noch auf einem anderen Wege, nämlich durch Drehversuche an einseitig labyrinthlosen, näher zu kommen. Bringt man den Kopf in eine Stellung, in welcher zwei gekreuzt korrespondierende Bogengänge in die Drehebene zu liegen kommen, eine Stellung, die ich als schräge Kopfseitenlage¹⁾ bzw. schräge Kopfbeugelage²⁾ (im Arch. f. Ohrhkl. 104 S. 120) näher beschrieben habe, so wird, da eine Seite unerregbar ist, nur ein Bogengang der gesunden Seite bei der Drehung gereizt, z. B. bei linksseitiger Labyrinthlosigkeit in rechter schräger Kopfseitenlage der rechte obere Bogengang, in linker schräger Kopfseitenlage der rechte hintere Bogengang. So fand ich in den untersuchten 8 Fällen, daß durch Reizung des oberen Bogengangs rotatorischer, durch Reizung des hinteren Bogengangs vertikaler Nystagmus erzeugt wird.

Nur in einem Fall trat in Kopfseitenlage, auch bei Einstellung des oberen Bogengangs in die Drehebene, vertikaler Nystagmus auf, ein Verhalten, für das ich keine Erklärung weiß. — Die Richtung der langsamen Komponente entspricht auch hier der Endolymphströmungsrichtung. Die Stärke und Dauer dieses Nystagmus ist meist sehr gering, er zeigt manchmal nur wenige Schläge.

Wenden wir uns nun zu der Frage des Zusammenwirkens der Bogengänge beider Seiten, so ist die allgemein herrschende Auffassung die, daß bei der gemeinsamen Drehreizung beider Labyrinth die zwei gekreuzt korrespondierenden Bogengänge weil in einer Ebene liegend zusammenwirken.

Auf Grund meiner Nystagmusbeobachtungen komme ich zu einem anderen Ergebnis. Ich schließe, daß bei der Drehung zwei gleichnamig korrespondierende Bogengänge zusammenwirken, und zwar unter Ausschaltung der Wirkung der übrigen Bogengänge. Diese Auffassung stützt sich auf folgende Punkte:

1. Auf die weitere Verfolgung der für die einzelnen vertikalen Bogengänge gefundenen Funktionen. Drehen wir die Versuchsperson in einer der Hauptebenen des Kopfes, der medianen oder der frontalen Ebene, so werden alle vier vertikalen Bogengänge, die ja mit jeder dieser Ebenen einen Winkel von 45° bilden, physikalisch gleich stark gereizt. Da nach den obigen Auseinandersetzungen das obere Bogengangspaar rotatorischen, das hintere vertikalen Nystagmus erzeugt, so müßte man, wenn die Wirkung aller vier Bogengänge zur

¹⁾ Angaben über diese Winkel sind in der Literatur nur sehr spärlich vorhanden. Bei Pütter findet sich eine Tabelle des Hornhautwinkels bei einigen Säugetieren. Bei Hydrochorus capybara und Myrmikophaga jubata konnte ich dank der Liebenswürdigkeit von Herrn Prof. Fischer diesen Winkel messen, soweit dies am mazerierten Schädel überhaupt möglich ist.

¹⁾ R. K. S. = Kopf um 45° nach links und 90° nach der rechten Seite geneigt. — ²⁾ R. K. B. = Kopf um 45° nach rechts und 90° nach vorn abwärts gebeugt.

Geltung käme, ein Gemisch von rotatorischem und vertikalem Nystagnus als Ergebnis erwarten. Die Erfahrung zeigt aber, daß wir bei Drehung in der Mediane ebene stets reinen vertikalen, bei Drehung in der Frontalebene stets reinen rotatorischen Nystagnus erhalten. Wie erklärt sich dieser Widerspruch? Wir müssen hier ein zweites, experimentell erwiesenes Gesetz zu Hilfe nehmen, welches die Schlagrichtung des Nystagnus betrifft und besagt, daß die langsame Komponente des Nystagnus gleichgerichtet ist der Richtung der Endolymphströmung.

Drehen wir den Kopf in der Frontalebene (um seine sagittale Achse) nach rechts — z. B. in gerader Kopfbeugelage —, so bewegt sich beim Beginn der Drehung die Endolymphe in den beiden hinteren Bogengängen nach links, und zwar im rechten hinteren Bogengang von rechts hinten über oben nach links vorne (ampullofugal). Diese Endolymphbewegung erzeugt vertikalen Nystagnus nach aufwärts (die langsame Komponente entsprechend der Nystagnusrichtung nach abwärts, die rasche nach aufwärts). Im linken hinteren Bogengang strömt die Endolymphe von rechts vorn über oben nach links hinten (ampullopetal) und erzeugt vertikalen Nystagnus nach abwärts. Beide Nystagnusbewegungen müssen sich aber aufheben, da sie gleich stark und entgegengesetzt gerichtet sind. Es bleibt also nur noch die Wirkung der Endolymphströmung in den oberen Bogengängen übrig. Diese bewegt sich im rechten oberen Bogengang von rechts vorne über oben nach links hinten (ampullofugal) und erzeugt rotatorischen Nystagnus nach rechts, im linken oberen Bogengang von rechts hinten über oben nach links vorne (ampullopetal) und erzeugt ebenfalls rotatorischen Nystagnus nach rechts. Beide Wirkungen addieren sich also und ergeben als Endeffekt, wie die Erfahrung bestätigt, rotatorischen Nystagnus nach rechts.

Drehen wir den Kopf in der Mediane ebene (um seine transversale Achse) nach vorne oder, was das Gleiche ist, in linker gerader Kopfseitenlage nach rechts, so bewegt sich zu Beginn der Drehung die Endolymphe in beiden oberen Bogengängen ampullofugal nach innen und hinten gegen die Mediane ebene des Kopfes zu. Sie strömt also in beiden Bogengängen in entgegengesetzter Richtung, im rechten nach links hinten, im linken nach rechts hinten. Die erstere erzeugt rotatorischen Nystagnus nach rechts, die letztere erzeugt rotatorischen Nystagnus nach links. Beide Nystagnusbewegungen müssen sich, da sie entgegengesetzt gerichtet sind, gegenseitig aufheben. Es bleibt demnach nur noch der Effekt der Endolymphströmung in den hinteren Bogengängen übrig. In diesen beiden Bogengängen strömt sie ampullopetal, von der Mediane ebene weg nach hinten und außen. Die Endolymphbewegung im rechten hinteren Bogengang erzeugt vertikalen Nystagnus nach abwärts, diejenige im linken hinteren Bogengang ebenfalls vertikalen Nystagnus nach abwärts. Beide Nystagnusbewegungen addieren sich zu dem Endeffekt: vertikaler Nystagnus nach abwärts, wie das Experiment bestätigt.

2. Gegen die Annahme des Zusammenwirkens zweier gekreuzt korrespondierender Bogengänge sprechen auch die Reaktionen, die man bei gleichzeitiger Reizung dieser Bogengänge erhält. Wäre ein gekreuztes Bogengangspaar dazu bestimmt, zusammen zu wirken, so sollte man erwarten, daß man bei ihrer gleichzeitigen Reizung in physikalisch günstigster Stellung deutliche, gleichsinnige Nystagnusreaktionen erhielte. Das ist aber in der Tat nicht der Fall. Ich habe bei einundzwanzig beiderseits labyrinthgesunden Individuen versucht, die gekreuzt korrespondierenden Bogengänge durch ihre Einstellung in die Drehebene in den schrägen Kopfstellungslagen, die ich auch als physikalische Optimumstellung bezeichnet habe, zu reizen.

Die dabei beobachteten Nystagnusreaktionen standen sowohl hinsichtlich ihrer Intensität und Gleichmäßigkeit als auch ihrer physiologischen Zweckmäßigkeit weit hinter den Reaktionen zurück, welche wir bei Drehung in den Hauptebenen des Kopfes, die ich als physiologische Optimumstellung bezeichnet habe, beobachten. Das Ergebnis meiner schon vor 10 Jahren begonnenen Drehversuche war sogar so mannigfaltig und vielgestaltig, daß ich sie damals als unentwirrbar wieder aufgegeben habe. Schließlich ist es mir aber doch gelungen, in ihnen eine gewisse Gesetzmäßigkeit zu erkennen und sie in mehrere, unter sich gleichartige Gruppen einzuteilen. Ich will auf die genauere Darstellung dieser Gruppen (l. c.) hier nicht näher eingehen, sondern nur hervorheben, daß sie sich in der Hauptsache durch das Ewaldsche Gesetz der Wertigkeit der Endolymphströmungsrichtung und durch die anatomische Varietät der Bogengangsstellungen erklären lassen. Nach den Ewaldschen Versuchen mit dem pneumatischen Hammer sind die beiden Endolymphströmungsrichtungen nicht gleichwertig, sondern ist die ampullopetale Strömungsrichtung die wirksamere. Andere Autoren kamen zu anderen Ergebnissen, die meisten stimmen aber darin überein, daß eine Richtung wirksamer ist als die andere. Stehen die beiden in die Drehebene eingestellten, gekreuzt korrespondierenden Bogengänge unter gleichen physikalischen Bedingungen — was dann der Fall ist, wenn sie mit der Mediane ebene wirklich einen Winkel von 45° bilden —, dann liegt die Entscheidung, welche der beiden Reaktionen, ob vertikaler oder rotatorischer Nystagnus zum Vorschein kommt, nur noch an der Wertigkeit der Endolymphströmungsrichtung, indem die wirksamere Richtung — in meinen Fällen meist die ampullopetale Strömungsrichtung — überwiegt. Dadurch würden sich restlos diejenigen Fälle — es waren deren vier — erklären, bei welchen ich in allen schrägen Kopfstellungslagen bei der Drehung in der einen Richtung rotatorischen, bei der Drehung in der anderen Richtung vertikalen Nystagnus erhalten habe. Die geringe Anzahl dieser — den theoretischen Voraussetzungen vollauf entsprechenden — Re-

sultate erklärt sich aus der Tatsache, daß nur sehr wenige Schläfenbeine, wie aus den Schönmannschen Messungen zu berechnen ist, dieses regelrechte Verhalten zeigen. Die meisten Schläfenbeine zeigen ein mehr oder weniger starkes Abweichen von der Winkelstellung von 45° ihrer vertikalen Bogengänge. Betrachten wir, um nur ein Beispiel anzuführen, den Schädel 36 der Schönmannschen Tabelle, bei welchem die oberen Bogengänge mit der Mediane ebene einen Winkel von 45° , die hinteren einen solchen von 20° mit der Mediane ebene bilden, so wird, wenn wir ein solches Bogengangspaar in die versuchte Optimumstellung bringen, immer nur ein Bogengang, in diesem Falle ein oberer, wirklich in Optimumstellung gelangen, der andere jedoch, durch seine Neigung von 25° gegen die Drehebene stets hinsichtlich der Strömungsenergie seiner Endolymphe im Nachteil sein. Es wird also bei allen Drehungen überwiegend nur die Reaktion des in Optimumstellung befindlichen Bogengangs, in diesem Falle also rotatorischer Nystagnus zu erwarten sein. Ein solches Verhalten zeigt aber eine Gruppe von Fällen, bei welchen in allen schrägen Kopfstellungslagen und in jeder Drehrichtung nur rotatorischer Nystagnus entstand. Ähnlich lassen sich auch die meisten anderen Gruppen durch Konkurrenz der Endolymphströmungswertigkeit und der anatomischen Stellung der Bogengänge erklären. Auch die asymmetrischen Schläfenbeine finden ihre Parallele in den resultierenden Nystagnusformen einer Gruppe.

3. Das physiologische Eingestelltsein der gleichmäßig korrespondierenden vertikalen Bogengänge findet seinen anatomischen Ausdruck in ihrer Winkelbeziehung zur Mediane ebene. Nach der Schönmannschen Tabelle zeigen die gleichnamigen vertikalen Bogengänge in mehr als der Hälfte der Fälle ein streng symmetrisches Verhalten zur Mediane ebene, während die gekreuzt korrespondierenden Bogengänge nur in einem einzigen Falle wirklich in der gleichen Ebene liegen. Die symmetrische Lage der vertikalen Bogengangspare würde aber nur dann eine gleiche physikalische Kräfteverteilung in den Bogengängen beider Labyrinth — wie sie die oben aufgestellte Theorie annimmt — gewährleisten, wenn tatsächlich in beiden Labyrinth bei der Drehung die gleiche Kraft wirksam ist. Es wird von anderer Seite die Auffassung vertreten, daß im exzentrisch gelagerten Labyrinth die größere Kraft wirke. Ich bin auf Grund von mathematischen Überlegungen zu der Auffassung gelangt, daß in beiden Labyrinth, unabhängig von ihrer Lage zum Drehpunkt, die gleichen Kräfte wirksam sind (l. c.).

Zusammenfassend ließe sich demnach sagen: Das Flourensche Gesetz läßt sich auf die vertikalen Bogengänge nicht strikte anwenden, sondern, unabhängig von der individuell schwankenden Bogengangsstellung, ist der rotatorische Nystagnus beim Menschen eine Funktion der oberen, der vertikale Nystagnus eine Funktion der hinteren Bogengänge.

Bei Drehungen in den Hauptebenen des Kopfes (geraden Kopfstellungslagen), welche gleichzeitig die physiologische Optimumstellung sind, wirken je zwei gleichnamige vertikale Bogengänge unter Ausschluß der anderen zusammen. Bei Drehungen in den schrägen Ebenen des Kopfes (schrägen Kopfstellungslagen), welche gleichzeitig die physikalische Optimumstellung sind, kommt von je zwei gekreuzt korrespondierenden Bogengängen meist nur die Wirkung des einen zur Geltung, und zwar in Abhängigkeit von der Wirksamkeit der Endolymphströmungsrichtung und der anatomischen Varietät der Bogengangsstellung.

Wenn wir in dem Nystagnus eine Einrichtung sehen, welche die optische Verschiebung der Gegenstände bei der Drehung gleichsam wie ein Stroboskop verlangsamt und der Entstehung von Schwindel dadurch entgegenwirkt, so ist die Vollkommenheit dieser Einrichtung beschränkt auf die Hauptebenen des Kopfes und auf ein individuell verschieden breites Ebenenbündel zu beiden Seiten dieser Hauptebenen. In den schrägen Ebenen des Kopfes ist sie aber unvollkommen und läßt die physiologische Zweckmäßigkeit mehr oder weniger vermissen. — Die Diskrepanz zwischen der Nystagnusreaktion in physiologischer und physikalischer Optimumstellung fordert eine Erklärung. Ist die Nystagnusreaktion lediglich von der Bogengangsreizung abhängig, dann ist die fast rudimentäre Reaktion in physikalischer Optimumstellung schwer verständlich. Es liegt deshalb der Gedanke nahe, noch einen anderen, hauptsächlich nur von der Kopfstellung abhängigen Reiz als wirksam anzunehmen, um so mehr, als auch bei einseitig labyrinthlosen ein großer Unterschied in den Nystagnusreaktionen der schrägen und geraden Kopfstellungslagen zugunsten der letzteren sich ergeben hat. Ein solcher, in seiner Stärke von der Kopfstellung abhängiger Reiz ist aber der Makulareiz, der auch während der Dauer der Drehung durch die Wirkung der Zentrifugalkraft auf die Otolithenorgane unterhalten wird und offenbar einen Einfluß auf die zentrale Verwertung des Ampullenreizes ausübt. Nach den experimentellen Untersuchungen von Kubo besteht eine enge und komplizierte Beziehung zwischen Makula und Ampulle. Anatomisch findet sie ihren Ausdruck in den Verzweigungen des Nervus vestibularis, durch welchen die Macula utriculi und die Ampulle des horizontalen und oberen Bogengangs einerseits und die Macula sacculi und die Ampulle des hinteren Bogengangs andererseits in engerer Beziehung stehen. Es müßte demnach in Kopfbeugelage die Macula utriculi, in Kopfseitenlage die Macula sacculi bei der Drehung stärker gereizt werden.

Die Annahme eines Einflusses des Makulareizes auf die zentrale Verwertung des Ampullarreizes würde auch die physiologische Summation des Drehreizes erklären. Wir müssen uns den der Ampullarreizung zugrundeliegenden physikalischen Vorgang als äußerst kurz dauernd vorstellen, da die Endolymphbewegung durch die Kapillarität des Bogengangslumens sofort aufgehoben wird. Würde die Stärke und Dauer des Nystagmus nur vom Ampullarreiz abhängen, so wäre die bedeutend längere Dauer des Nystagmus nach mehreren gleichmäßigen Umdrehungen gegenüber der nach einer Umdrehung schwer zu verstehen; sie wird meines Erachtens besser erklärt durch die Mitwirkung eines Reizes, der während der ganzen Dauer gleichmäßiger Umdrehungen weiter wirkt, wie dies beim Makulareiz der Fall ist. Sollte sich diese Auffassung bestätigen, so müßte die Mach-Breuersche Theorie, welche zwischen der Statholithenfunktion und der Ampullenfunktion eine scharfe Trennung vornimmt, dahin modifiziert werden, daß zwischen beiden Organen hinsichtlich der Nystagmusreaktion doch eine engere Beziehung besteht.