

III.

Ueber die Function der Bogengänge des Ohrlabyrinths

von

Dr. E. Berthold.

Docent an der Universität in Königsberg.

Die vor circa 50 Jahren von Flourens beschriebenen merkwürdigen Bewegungen, welche nach Durchschneidung der Bogengänge bei Vögeln eintreten, haben eine grosse Zahl von Forschern veranlasst die Flourens'schen Versuche nachzumachen und zu erklären. So gross einerseits die Uebereinstimmung in den Angaben über die nach der Operation auftretenden Erscheinungen war, so gross war aber andererseits die Verschiedenheit in der Deutung der gewonnenen Thatsachen. Kein Wunder daher, dass dieselben Untersuchungen immer wieder von Neuem wiederholt wurden. Durch eine Arbeit von Goltz, der eine neue Hypothese über die Function der Bogengänge aufstellte, wonach dieselben sozusagen Sinnesorgane für das Gleichgewicht des Kopfes und mittelbar des ganzen Körpers sein sollen, gewann die Frage über die Function der Bogengänge ein noch erhöhtes Interesse, und so hielt ich es für eine nicht unwichtige Aufgabe, durch neue Untersuchungen die Hypothese von Goltz entweder zu bestätigen oder zu widerlegen. Goltz führt in seiner Arbeit aus, dass 3 Elemente dazu erforderlich seien, damit das Gleichgewicht beobachtet werde: 1) das Centralorgan selbst, 2) gewisse hirnwärtsleitende Nervenfasern sammt Endorganen, 3) gewisse Bewegungsnerven nebst ihren Endapparaten.

„Erleidet eines dieser Elementè eine Störung, so kann die Erhaltung des Gleichgewichts erschwert oder aufgehoben werden.“ Soll die Durchschneidung der Bogengänge also zu Schlüssen

berechtigten, so muss selbstverständlich vor allen Dingen der Nachweis geführt sein, dass das Centralorgan für das Gleichgewicht, also bei Vögeln wahrscheinlich das Kleinhirn, unverletzt geblieben ist. Hiervon glauben sich auch alle Beobachter vor und nach Goltz vollständig überzeugt zu haben. Nun ist aber in einer Arbeit von Dr. A. v. Schklarewsky bei Vögeln ein Fortsatz des Kleinhirns beschrieben, welcher sich so zwischen die beiden verticalen Bogengänge schiebt, dass eine Verletzung desselben bei Operationen an den verticalen Bogengängen wohl nur durch grosse Sorgfalt bei genauer Kenntniss der anatomischen Verhältnisse zu vermeiden ist. Es bedürfen daher die Untersuchungen über die Durchschneidung der Bogengänge einer genauen Controle, nicht nur wegen der Erklärung der darnach folgenden Erscheinungen, sondern auch um zuerst die That-sachen festzustellen, und zu trennen, was als Folge der reinen Verletzung der Bogengänge und was als Folge des nebenbei verletzten Kleinhirnsfortsatzes aufzufassen sei.

Schklarewsky hat also gefunden, dass „das Schläfenbein bei Vögeln in derjenigen Partie, in welcher die Bogengänge eingelagert sind, eine in den von den Bogengängen umfassten Raum sich weit hineinstreckende, von den umgebenden pneumatischen Knochenzellen vollkommen abgeschlossene Höhle beherbergt, welche mit der hintern Schädelgrube in offener Verbindung steht, resp. einen seitlichen etwas nach hinten und unten gerichteten Ausläufer derselben bildet.“ Wegen der Lage dieser Höhle zwischen den Bogengängen nennt Schklarewsky dieselbe „Cavitas mesootica.“ Der Inhalt dieser Höhle besteht aus unmittelbaren Fortsetzungen der seitlichen Aahänge des Wurmes des Kleinhirns. Diese Hirnfortsätze sind mit sämtlichen Hirnhäuten umkleidet, auf denen auffallend starke Blutgefässe verlaufen. Diese Angaben Schklarewsky's kann ich bei den Vögeln, die ich untersuchte, bei Tauben, Hühnern und Enten vollkommen bestätigen. Ueber den mikroskopischen Bau dieser in die cavitas mesootica sich hineinstreckenden Hirnfortsätze, Processus cerebelli mesootici genannt, will ich der ausführlichen Arbeit, die Schklarewsky versprochen, nicht vor-greifen, sondern sofort die Versuche beschreiben, wie ich sie meistens an Tauben anstellte.

Zu der Operation verwandte ich eine anatomische Scheere und Pincette, eine Irispincette und Irisscheere, ein Scalpell und eine Nadelscheere. Zuerst durchschnitt ich die Haut mit einer

Scheere von der äussern Ohröffnung aus dicht über dem horizontalen Bogengang. Diesen findet man, wenn man sich vom Ende der Schnabelspalte an den untersten Punkt der äussern Ohröffnung eine Tangente gezogen denkt. Bei dem Hautschnitt fliesst kaum ein Tropfen Blut. Dann durchschnitt ich die über dem Knochen liegenden Muskeln, so weit es anging, mit Schonung der grössern Gefässe. Die Blutung, welche dabei entsteht, ist nicht bedeutend und lässt sich durch Andrücken eines Schwammes leicht stillen. Werden dann die Muskeln von der Schnittfläche aus mit dem Stiele eines Scalpells nach oben und unten auseinander geschoben, so sieht man die pneumatischen Knochenzellen, in denen die Bogengänge eingebettet sind. Bevor man diese aufbricht, muss die Blutung vollkommen zum Stehen gebracht sein. Reicht einfaches Andrücken eines Schwammes nicht aus, so kann man die Ligaturen umstechen, was bei Tauben jedoch selten nöthig ist. Nun brach ich mit einer Nadelscheere oberhalb des horizontalen Bogenganges ein Stückchen Knochen aus, schob dann in die gemachte Knochenspalte eine Branche einer anatomischen Scheere hinein und schnitt vorsichtig die Knochenmassen fort bis die Bogengänge klar vor Augen lagen. Es erfolgt dabei fast gar keine Blutung, wenn man die starken Gefässe, welche sich meistens auf der convexen Seite der Bogengänge befinden, nicht zufällig anschneidet. Die Bogengänge liegen bekanntlich in 3 nahezu rechtwinklig auf einander stehenden Ebenen. Diese drei Ebenen fallen bei Vögeln zwar nicht ganz mit der Sagittal-, Frontal- und Horizontal-Ebene des Kopfes zusammen. Es bildet vielmehr bei Tauben die Ebene, in welcher der innere verticale Bogengang liegt, mit der Sagittal-Ebene einen Winkel von etwas mehr als 20° und dem entsprechend die Ebene, in welcher der äussere verticale Bogengang liegt, mit der Frontal-Ebene einen nahezu ebenso grossen Winkel. Der Kürze halber will ich jedoch diese beiden verticalen Bogengänge den sagittalen und den frontalen nennen. Es kreuzt sich dann der frontale Bogengang mit dem horizontalen unter nahezu rechten Winkeln. Hat man die Bogengänge auf die vorhin erwähnte Weise freigelegt, so kann man von ihnen den horizontalen vor und den frontalen unterhalb der Kreuzungsstelle leicht mit einer Scheere durchschneiden, ohne Nebenverletzungen zu fürchten.

Will man die häutigen Theile des sagittalen Bogenganges zerstören, so muss man seine äussere Wand aufbrechen und mit

einer Borste oder Nadel in den Gang eingehen. Bei der Durchschneidung eines Bogenganges tritt immer eine ziemlich bedeutende Blutung ein, so dass das Ausschneiden eines Stückes aus dem Bogengange beim zweiten Schnitte Schwierigkeiten bietet. Darum habe ich die Bogengänge statt mit einer Scheere mit einem starken seidenen Faden durchschnitten. Unter den horizontalen und frontalen Bogengang gelingt es leicht eine kleine krumme eingefädelte Nadel, wie sie zu Conjunctival-Suturen gebraucht wird, mit dem Ohrende so weit zu führen, dass man den Faden von der andern Seite mit einer Iris-Pincette fassen und vorziehen kann. Bildet man nun eine Fadenschlinge, so lässt sich durch einen kräftigen Zug ein Bogengang leicht durchschneiden. Will man ein Stück aus einem Bogengange ausschneiden, so legt man 2 Fäden in einer kleinen Entfernung von einander um denselben, macht 2 Schlingen und ist beim Zuziehen der zweiten Schlinge durch die nach Durchschneidung des Bogenganges eintretende Blutung nicht behindert.

Diese Methode der Durchschneidung ist besonders zu Demonstrationen geeignet, weil man das Auspräpariren der Bogengänge und Anlegen der Fadenschlinge beliebig lange vor dem letzten Act der Operation vornehmen kann. So stellte ich in der hiesigen medicinischen Gesellschaft mehrere Tauben vor, die ich am Mittage operirt hatte, und erst am Abend durchschnitt ich während meines Vortrages durch Zuziehen der Fadenschlinge den betreffenden Bogengang. Es hat diese Methode aber auch noch den Vortheil, dass man die Erscheinungen nach Verletzung der Bogengänge so rein als möglich mit Ausschluss aller Nebenerscheinungen, welche Folge der Angst und des Schmerzes während der Operation sind, erhält. Wer an verschiedenen Vögeln, z. B. an Tauben und Hühnern, operirt hat, dem wird es nicht entgangen sein, dass sich diese Thiere ganz verschieden dabei benehmen. Die Hühner verfallen, wenn sie zur Operation mit gebundenen Füßen und Flügeln auf dem Tische liegen, sehr bald in einen hypnotischen Zustand, in dem sie auch während der Operation zum grössten Theil verharren. Sie haben dann eine schnelle keuchende Respiration, zwinkern mitunter mit den Augenlidern, erwachen aber aus diesem Zustande nur dann, wenn ihnen ein Act der Operation besonders schmerzhaft wird, um alsbald wieder einzuschlafen. Beim Erwachen kreischen sie mehrmals laut auf und schlagen lebhaft mit den Flügeln. Als ich diese hypnotischen Zustände an

Hühnern zum ersten Male sah, während ich mit der Scheere ein Stück Knochen nach dem andern abtrug, fürchtete ich, dass das Thier im Absterben sei und wurde durch sein stürmisches Erwachen nicht wenig überrascht. An Tauben sah ich diese hypnotischen Zustände nie während der Operation. Ich komme jetzt zu der Schilderung der Erscheinungen, welche unmittelbar nach der Verletzung der Bogengänge auftreten. Es wird allgemein behauptet, dass eine Verletzung des knöchernen Theiles eines Bogenganges allein keine Folgen auf die Bewegungen der Thiere hat. Das ist jedoch nicht ganz richtig. Wenn man einen Bogengang angebrochen hat, so dass man die klare Lympfflüssigkeit ausfließen sieht, den häutigen Bogengang jedoch nicht mit verletzt hat, so sieht man, dass die Thiere beim Gehen ab und zu auf dem Beine der verletzten Seite einknicken und stolpern. Hat man auf beiden Seiten einen Bogengang angebrochen, so stolpern die Thiere bald auf dem einen, bald auf dem andern Beine. Durchschneidet man einen Bogengang, dann treten die Bewegungen ein, wie sie Flourens meisterhaft geschildert hat, und alle Nachfolger Flourens' in Uebereinstimmung beschreiben. Nach Durchschneidung eines horizontalen Bogenganges erfolgen pendelnde Kopfbewegungen in horizontaler Richtung, also von rechts nach links und umgekehrt. Diese Bewegungen hören bald auf, treten aber bei jeder Erregung des Thieres von Neuem auf. Verletzt man die horizontalen Bogengänge beiderseits, so sind die pendelnden Kopfbewegungen lebhafter und andauernder. Den Bewegungen des Kopfes folgen alsbald Drehbewegungen des ganzen Körpers von rechts nach links und umgekehrt. Nach Durchschneidung eines verticalen Kanals macht das Thier pendelnde Bewegungen mit dem Kopfe in verticaler Richtung, also von oben nach unten und läuft auch oft ein Paar Schritte vorwärts oder rückwärts. Sind sowohl die horizontalen als auch die verticalen Bogengänge durchtrennt, so sind die Bewegungen des Kopfes aus den Bewegungen in horizontaler und verticaler Richtung combinirt. Der Kopf beschreibt dann oft die Figur einer liegenden 8 (∞). Sind Stücke aus den Bogengängen ausgeschnitten oder fand bei der Operation eine starke Blutung statt, so sind die geschilderten Bewegungen viel lebhafter und gehen in Rollbewegungen des ganzen Körpers und in Ueberkugeln über den Kopf oder den Schwanz über. Dabei spreizen die Thiere die Beine und schlagen mit den Flügeln. Diese Bewegungen hören nicht eher auf, bis die Thiere

vollkommen erschöpft sind, um alsbald von Neuem zu beginnen. Verhindert man diese stürmischen Bewegungen durch Einwickeln der Thiere, dann erholen sie sich nach einigen Stunden so weit, dass sie von ihren Fesseln befreit, sich nicht von Neuem überkugeln. Ueberlässt man diese Thiere aber ihrem Schicksal, dann gehen sie an den ungestümen Rollbewegungen in einigen Stunden oder Tagen zu Grunde. Die Vögel verlieren nach Verletzung der Bogengänge die Fähigkeit zu fliegen. Sie sind in den ersten Tagen nach der Operation nicht im Stande selbst zu fressen und müssen künstlich gefüttert werden. Ihr Gehör ist unversehrt, ihre Aufmerksamkeit auf die Umgebung scheint gesteigert. In den ersten Tagen nach der Operation haben die Thiere keine Neigung sich zu bewegen. Sie sitzen regungslos stundenlang auf ein und demselben Platze. Die Tauben, welche nur geringere Verletzungen an den Bogengängen erlitten hatten, erholten sich dann in 5 bis 8 Tagen so weit, dass sie selbst fressen lernten und sich von gesunden Tauben nur wenig unterschieden. Die Haltung des Körpers war während der ersten Tage nach der Operation in der Ruhe eine vollkommen normale. Bei Bewegungen, besonders wenn die Tauben dazu angetrieben wurden, fielen sie bald auf dem einen bald auf dem andern Fusse. Setzte man eine solche Taube auf eine Stuhllehne und machte Balancirversuche, so wusste sie sich eine Weile gut zu halten, dann flatterte sie alsbald zur Erde. Einige Tauben, bei denen die Pendelbewegungen in den ersten 8 Tagen schon vollständig aufgehört hatten, führten noch nach vielen Wochen bei Erregungen Drehbewegungen des Körpers im Kreise aus.

Stellte man mit Tauben mehrere Wochen nach der Operation Flugversuche im Freien an, so stiegen die Tauben mit Durchschneidung der horizontalen Bogengänge bisweilen in die Luft, nach kurzer Zeit traten aber Drehbewegungen des Körpers in horizontaler Richtung ein, in Folge dessen sie schwindlig zu werden schienen und sich beeilten zur Erde zurückzufliegen. Erheben sich die Tauben jedoch nur wenige Fuss über der Erde, so können sie weitere Strecken fliegen, ohne Drehbewegungen auszuführen. Tauben, denen ich die verticalen Bogengänge durchschnitten hatte, zeigten auch nach Monaten noch keine Neigung in die Höhe zu steigen, und habe ich über deren Flug im Freien keine Erfahrung.

Ganz andere Erscheinungen bieten die Tauben dar, denen man grössere Verletzungen an den Bogengängen beigebracht

hat. Sie pflegen sich in den ersten Tagen nach der Operation nicht zu erholen, sondern zwischen dem 3. bis 8. Tage noch eine Verdrehung des Kopfes mit dem Scheitel nach unten und zur Seite oder auch mit dem Scheitel gerade zur Erde, den Schnabel gegen die Brust gedrückt, zu erleiden. Die Erscheinungen, welche diese Thiere darbieten, kann ich nicht besser schildern, als es Goltz in seiner Arbeit gethan hat, auf welche ich hiermit verweise. Nur eine Bemerkung möchte ich der Schilderung von Goltz noch hinzufügen. Hält man eine solche Taube mit dem Rücken nach oben in der Hand, so verdreht sie sofort den Kopf mit dem Scheitel nach unten. Dreht man nun die Taube um ihre Längsaxe, so bleibt die relative Lage des Kopfes zum Rumpfe dieselbe. Hält man also die Taube mit dem Rücken nach unten, so hat sie ihren Kopf nach oben gedreht.

Manègebewegungen habe ich nach Verletzung der Bogengänge nie eintreten sehen, dagegen kann ich versichern, dass Tauben nach der Operation Erbrechen bekamen, auch wenn eine Verletzung des Kleinhirns mit vollkommener Sicherheit auszuschliessen war. Lehrreich in dieser Beziehung war für mich folgender Fall. Als ich eines Tages eine Taube vom Boden der pathologischen Anatomie, den mir Herr Prof. Neumann zum Aufenthalt für meine Tauben gütigst bewilligt hatte, zur Operation in mein Arbeitszimmer herunterholte, traf ich im Flur einen Collegen, mit dem ich vielleicht eine Viertelstunde über meine Versuche gesprochen hatte, als die Taube, die ich dabei ruhig in der Hand hielt, Erbrechen bekam. Möglich ist es dass ich die Taube dabei etwas fester gehalten, als es nöthig war. Wenn man jedoch eine Taube bindet und operirt, so dürfte das Festhalten derselben während der Operation mindestens dieselbe Wirkung haben können, als das Halten der Taube während unserer Unterhaltung. Es scheint daher, als wenn die Tauben ziemlich leicht brechen. Von Hunden ist es ja bekannt, dass sie oft bei den leichtesten Operationen Erbrechen bekommen; sonach scheint das Erbrechen der Tauben, von welchem mehrere Autoren, wie Löwenberg, Cyon, Schklarewsky, behaupten, dass es ein Zeichen von Mitverletzung des Kleinhirns sei, durchaus kein sicheres pathognomonisches Zeichen zu sein, zumal es bei Tauben, denen ich absichtlich das Kleinhirn verletzte, bisweilen ausblieb.

Die Angaben von Flourens und Löwenberg, dass Tauben, denen man nach Eröffnung der Schädeldecke das

Grosshirn vom Kleinhirn durch einen tiefen Schnitt trennt, nach Verletzung der Bogengänge dieselben Bewegungen ausführen, wie Tauben mit intactem Grosshirn, kann ich bestätigen. Auch in der Chloroformnarkose treten die pendelnden Kopfbewegungen auf, wenn die Narkose nicht so tief ist, dass alle Reflexerscheinungen aufhören. Dagegen kann ich Löwenberg nicht bestimmen, dass chemische Reize, die man auf die häutigen Bogengänge einwirken lässt, eine Vermehrung der Bewegungen zur Folge haben. Bei einfachem Aufträufeln von concentrirter Kochsalzlösung in die Lücke, welche ich in einen Bogengang gemacht hatte, erhielt ich keine Bewegungen des Kopfes, ebenso wenig, wenn ich Lösungen von Argentinum nitricum anwandte, spritzte ich jedoch die Lösungen in den Bogengang ein, dann traten schwache Bewegungen auf. Es blieb mir aber zweifelhaft, ob der chemische Reiz, oder eine dabei stattgefundenen Verletzung der häutigen Bogengänge die Ursache der Bewegungen gewesen. Die elektrischen Reizversuche, welche ich anstellte, führten auch nicht zu einem positiven Resultat. Als Elektroden wandte ich feine Silberdräthe an, die ich in die Bogengänge hineinschob. Bei elektrischer Reizung der horizontalen Bogengänge drehte sich der Kopf jedes Mal nach der Seite der Anode beim Schluss der Kette. Durch Wendung des Stromes konnte ich Pendelbewegungen des Kopfes in horizontaler Richtung erzeugen. Hatte ich aber die Elektroden nicht in die horizontalen Kanäle hineingeschoben, sondern nur durch die Haut zu beiden Seiten des Kopfes, so traten bei der elektrischen Reizung ganz dieselben Erscheinungen auf, wie vorher. Auch die Verbindung der Elektroden mit den verticalen Bogengängen hatte keinen andern Erfolg, obgleich man doch hierbei Pendelbewegungen des Kopfes in verticaler Richtung hätte erwarten sollen. Es schien wohl bisweilen so, als wenn ausser der horizontalen Drehung noch ein Anziehen des Kopfes einmal nach dem Nacken hin und bei Wendung des Stromes nach der Brust zu stattfand, doch war die Bewegung nicht so deutlich und constant, dass man daraus hätte sichere Schlüsse ziehen können. Eine deutliche Bewegung mit dem Kopfe nach vorn und hinten trat aber ein, wenn die Elektroden oberhalb oder unterhalb des Schnabels und am Hinterkopf in der Haut befestigt waren. Es bewegte sich auch hierbei der Kopf jedes Mal nach der Seite der Anode.

Bevor ich zur Erklärung der nach der Verletzung der Bogengänge auftretenden Bewegungen übergehe, will ich die Erschei-

nungen beschreiben, welche ich nach isolirter Verletzung der Processus cerebelli mesootici beobachtet habe. Wie wir sehen werden, stimmt ein Theil derselben mit denen nach Verletzung der Bogengänge überein. Ziehe ich diese gemeinsamen Erscheinungen von denen ab, welche nach Durchschneidung der Bogengänge überhaupt vorkommen, so werde ich erst die Erscheinungen kennen lernen, welche auf die Verletzung der Bogengänge allein zu beziehen sind, und aus diesen werde ich erst berechtigt sein, Schlüsse auf die Function der Bogengänge zu machen. Um nun die Processus cerebelli mesootici isolirt zu verletzen, ist eine genaue Kenntniss der Cavitas mesootica erforderlich. Die Axe dieser Höhle verläuft parallel der Schnittlinie der Ebenen des horizontalen Bogenganges und zwar ein wenig über dieser Schnittlinie. Demnach befindet sich diese Höhle unter dem obern Theile des frontalen Bogenganges und zwar etwas vor demselben. Das Ende der Höhle reicht fast bis zum horizontalen Bogengange hin. Nahe unterhalb des Eingangstheils der Höhle liegt das Vestibulum mit den Ampullen. Um nun den Inhalt der Höhle isolirt zu verletzen, muss man zuerst die Bogengänge frei legen und dann mit grosser Vorsicht die Wandung der Höhle, welche aus einer dünnen festen Knochenmasse besteht aufbrechen, dann zerstört man den Kleinhirnfortsatz am besten mit einer Nadel. Die Blutung ist dabei sehr beträchtlich und die Operation darum mit Schwierigkeiten verknüpft. Hat man nur die Hirnhäute verletzt, so macht das Thier wohl eine krampfhaftige Bewegung mit dem Kopfe nach hinten, losgelassen läuft oder fliegt es schnell davon. Dringt man mit einer Nadel tiefer in die Cavitas mesootica ein, so macht das Thier in dem Moment der Verletzung eine so krampfhaft zuckende Bewegung mit dem Kopfe, dass die Verletzung häufig tiefer geht, als sie beabsichtigt war. Daher sind die Erscheinungen nach der Operation in ihrer Intensität, sehr verschieden. Das erste Symptom ist eine plötzlich eintretende Ablenkung des Kopfes und Halses nach der der Operationsstelle entgegengesetzten Seite. Oft wird auch der Kopf nach hinten an den Nacken angezogen oder nach unten und seitwärts, so dass der Scheitel den Fussboden berührt und der Schnabel an die Brust gedrückt wird. Beim Gehen stolpern die Thiere auf dem Beine der verletzten Seite. Nach grössern Verletzungen machen die Thiere stürmische Bewegungen, spreitzen die Beine, stützen sich auf die Schwanzfedern, schlagen mit den Flügeln, überkugeln sich und rollen

sich um ihre Längsaxe. Diese Bewegungen werden unaufhörlich ausgeführt, bis die Thiere erschöpft liegen bleiben. Sobald die Thiere sich erholt haben, führen sie von Neuem diese ungestümen Bewegungen aus. In dem Zustande der Erschöpfung liegen sie meist bewegungslos auf der Seite, an der die Operation ausgeführt ist. Werden sie aus diesem Zustande aufgeschreckt, so treten sofort wieder die krampfhaften Bewegungen ein. Nach einiger Zeit werden die Krämpfe seltner, der Zustand der Ruhe dauert länger an. Die Thiere müssen in den ersten Tagen künstlich gefüttert werden und können sich allmählich erholen, oder sie sterben auch an den Verletzungen, die sie sich während der Krämpfe selbst beibringen, oder an Erschöpfung. Wenn sie sich erholen, so tragen sie häufig den Rumpf schief nach der verletzten Seite hin und strecken das Bein dieser Seite beim Gehen weniger aus, als das andere. In Folge dessen treten Manègebewegungen nach der verletzten Seite hin auf. Tauben, welche solche Manègebewegungen ausführen, stützen gerne die Seite des Rumpfes, welche sie sonst geneigt tragen. In einem runden Hühnerkorbe gehen sie daher immer sich stützend an der Seitenwand in entgegengesetzter Richtung im Kreise herum, als auf freier Erde. Im Laufe der Zeit richten sich die Tauben mehr auf, nehmen eine geradere Haltung des Körpers an und beschreiben dann auch bei den Manègebewegungen immer grössere Bogen. Lässt man Tauben einige Wochen nach dieser Operation im Freien fliegen, so führen sie im Fluge Schwankungen aus um ihre Längsaxe. Der Rumpf einer solchen Taube macht in der Luft Bewegungen, wie ein Schiff im Wasser, welches von der Seite her Wellen bekommt.

Bei andern Tauben ist das auffälligste Symptom die Verdrehung des Halses und die Unsicherheit im Gange. Sie sind häufig von den Tauben, die den Kopf verdreht tragen nach Ausschneidung von Stücken aus den Bogengängen, nicht zu unterscheiden. Die Thiere, welche nach der Operation zu Grunde gingen, zeigten bei der Section eine starke ödematöse Schwellung der Haut des Kopfes. Schnitt man die Kopfhaut auf, so floss zwischen Schädelknochen und Kopfhaut eine schmutzige grüngelbe Flüssigkeit aus. Das Kleinhirn sah auf der Oberfläche oft etwas missfarben aus. Auf der Durchschnittsfläche liess sich jedoch stets die normale Zeichnung des Kleinhirns erkennen. Eine vollständige Vereiterung desselben habe ich bei den zahlreichen Sectionen, welche ich angestellt, nie

gefunden. Das Gehirn selbst war sehr hyperämisch und zeigte einzelne punktförmige Blutungen.

Die Section der Tauben, welche in Folge der Ausschneidung von Stücken aus den Bogengängen gestorben waren, ergab im Wesentlichen dasselbe Resultat. Auch hier war der Tod wohl nicht durch die Operation an sich, sondern in Folge der Verletzungen, welche die Thiere sich selbst beigebracht hatten, erfolgt. Die Bogengänge waren in grösserer Ausdehnung zu beiden Seiten der Verletzung mit Exsudat gefüllt, welches die Consistenz von Gallerte hatte.

Vergleichen wir nun die Erscheinungen, welche nach Verletzung der Bogengänge auftreten, mit denen, welche nach Zerstörung des Kleinhirnfortsatzes beobachtet werden, so finden wir, dass das charakteristische Symptom für die Verletzung der Bogengänge die Pendelbewegungen des Kopfes und die Drehbewegungen des Rumpfes sind. Diese Bewegungen kommen nach Verletzung des Kleinhirnfortsatzes nicht vor. Dagegen tritt die Verdrehung des Kopfes, welche zu den erheblichen Gleichgewichtsstörungen Veranlassung gibt, nach beiden Operationen ein. Dabei ist aber zu bemerken, dass die Ablenkung des Kopfes nach Verletzung des Kleinhirnfortsatzes sofort auftritt, nach Verstümmelung der Bogengänge aber erst im Verlaufe der ersten 8 Tage. Es ist sonach diese Verdrehung des Kopfes im letztern Falle nicht eine directe Folge der Operation, sondern wahrscheinlich die Folge von pathologischen Veränderungen im Kleinhirn.

Da ich Gelegenheit hatte, das wichtigste Symptom nach Verletzung der Bogengänge, die Pendelbewegungen des Kopfes, an zwei Menschen zu beobachten, so lasse ich deren Krankengeschichte hier folgen.

Der Gärtner Otto Bohm, 22 Jahre alt, bei Moscau auf dem Lande wohnhaft, war gerade damit beschäftigt, einen Eimer Wasser aus einem Brunnen heraufzuziehen, als der Querbalken, an welchem der Eimer hing, von der Pfanne, die den Unterstützungspunkt desselben bildete, herunterfiel und unsern Kranken am Hinterkopfe traf. Er fiel in Folge des Schlages um und verlor auf einige Minuten die Besinnung. Als er sich vollständig erholt hatte, war eine äusserliche Verletzung weder am Kopfe, noch am übrigen Körper bemerkbar. Es trat auch nicht Erbrechen ein. 8 Tage nach der Verletzung bemerkte der Kranke schwache Pendelbewegungen des Kopfes in horizontaler Richtung, die sich in einigen Tagen wieder so weit verminderten, dass sie fremden Leuten nicht auffielen. Am 5. October 1873, circa 9 Wochen nach der Verletzung, trat Bohm, der preussischer

Unterthan war, in ein Infanterie-Regiment hier in Königsberg ein. Bei den Freiübungen, beim Springen und Turnen hatte der Kranke unangenehme Empfindungen im Kopfe und Benommenheit desselben. Dazu kam eine Vermehrung der Pendelbewegungen des Kopfes, so dass der Kranke von seinen Vorgesetzten ins Lazareth geschickt wurde. Hier erhielt er eine ableitende Behandlung. Es wurde ihm Pockensalbe in den Nacken eingerieben, aber ohne Erfolg. Die Pendelbewegungen des Kopfes blieben unverändert, dauerten den ganzen Tag über ununterbrochen an, und hörten auch während des Schlafes nicht vollständig auf. An Schwindel litt der Kranke nicht. Auch mit geschlossenen Augen bewegte er sich wie ein Gesunder. Er hatte aber die Neigung in einem Bogen etwas nach links zu gehen. Schritt er durch ein langes Zimmer zur Thüre, so musste er bei den letzten Schritten eine absichtliche Schwenkung nach rechts machen, um den Drücker der Thüre ergreifen zu können. Das Gehör war fast normal. Die Töne eines Klaviers unterschied er durch die ganze Skala hindurch vom tiefsten bis zum höchsten Tone. An Ohrensausen litt der Kranke für gewöhnlich nicht, doch trat es bisweilen im Freien bei starkem Winde auf. Die Untersuchung des Gehörganges ergab beiderseits eine reichliche Ansammlung von gewöhnlichem Ohrenschmalz. Nach Entfernung desselben sah das Trommelfell etwas trübe und geröthet aus. Die Untersuchung der Schädelknochen ergab bei Betastung nichts Abnormes. Dem Herrn Generalarzt Dr. v. Stückradt und dem Herrn Stabsarzt Dr. Bobrik, bin ich für die Ueberlassung dieses Falles zur Publication zu grossem Danke verpflichtet.

Der oben erwähnte Fall erinnerte mich an einen Holzarbeiter, welchen ich vor circa 2 Jahren auf meinem Hofe bei der Arbeit Pendelbewegungen mit dem Kopfe um die sagittale Axe ausführen sah. Ich hatte damals gerade nicht Zeit, dem Manne meine Aufmerksamkeit zu widmen, es gelang mir jedoch ihn jetzt aufzufinden und von seinen Angehörigen folgende Krankengeschichte zu erhalten.

Louis Biegel, 20 Jahre alt, war bei der Geburt ein gesundes, aber sehr schwaches Kind. 3 Wochen alt, erkrankte er an Diarrhöe, in Folge deren er so elend wurde, dass die Eltern jeden Augenblick seinen Tod erwarteten. Es scheint, als wenn er in seinen ersten Lebensjahren an Rhachitis gelitten, denn er lernte erst im 5. Lebensjahre gehen. Schon im 2. Lebensjahre litt er an starkem Ohrenfluss, der allen Mitteln widerstand, und erst im 6. Lebensjahr nachliess. In Folge dieses Ohrenflusses war er auf dem linken Ohre ganz taub und auf dem rechten Ohre schwerhörig geworden. Er konnte die Schule daher nicht besuchen und wuchs ohne Unterricht auf. Die ersten Worte lernte er im Alter von 7 Jahren sprechen. Jetzt soll er zwar schlecht, aber doch verständlich sprechen können. Vor Aerzten hat er aber eine so grosse Angst, dass er nur in Begleitung seiner nächsten Verwandten zu ihnen geht, die für ihn antworten müssen.

Als ich die Untersuchung des Ohres vornehmen wollte, fand ich den Gehörgang enge, mit Granulationen bedeckt und mit Ohrenschmalz angefüllt. Nur mit grossem Widerstreben liess sich der Kranke den Gehörgang mit lauwarmen Wasser ausspritzen, wobei er fast ohnmächtig wurde. Eine weitere Untersuchung liess er sich dann nicht mehr gefallen. Ich war also auf die Angaben seiner Angehörigen angewiesen, die mir übereinstimmend mittheilten, dass Louis Biegel von 3. Lebensjahre an Pendelbewegungen mit dem Kopfe um die sagittale Axe ausgeführt habe. Seine Mutter versicherte, dass die Bewegungen des Kopfes weiter nichts als eine schlechte Angewohnheit seien. Er pendele daher auch nur mit dem Kopfe, wenn er sich unbeobachtet glaube und bei der Arbeit; werde er aber auf sich aufmerksam gemacht, so halte er den Kopf sofort ruhig, da er sich selbst seiner schlechten Angewohnheit schäme und von seinen Kameraden deswegen oft verspottet werde. Auf meinen Wunsch, er möchte doch die Kopfbewegungen, wie er sie gewöhnlich mache, in meiner Gegenwart ausführen, blieb er regungslos stehen, meine Aufforderung war ihm sichtlich sehr unangenehm. Wenn die Untersuchung dieses Falles auch unvollkommen ist, so steht doch soviel fest, dass der Kranke die Pendelbewegungen seines Kopfes durch seinen Willen zum Stillstande zu bringen vermag, dass sie auftreten, wenn er seine Aufmerksamkeit denselben nicht zuwendet und dass sie bei Bewegungen des Körpers, wie bei der Arbeit stärker werden.

Ich komme nun zu dem wichtigsten Theile meiner Arbeit, zu der Erklärung der an den operirten Thieren und den beiden Kranken beobachteten Erscheinungen. Flourens, der Entdecker derselben, hatte die Ueberzeugung, dass sie sich durch Störungen in der Function der eigentlichen Hörnerven nicht erklären lassen. Er nahm daher an, dass der sogenannte Nervus acusticus aus 2 verschiedenen Nerven bestehe, aus dem eigentlichen Gehörnerv, dem Nervus cochleae, und aus dem Nervus vestibuli, welcher noch andere eigenthümliche Nervenfasern enthalten müsse, die nach Verletzung der Bogengänge die eigenthümlichen Bewegungen verursachen. Flourens schloss ferner aus der Aehnlichkeit der Erscheinungen, welche nach Verletzung der Bogengänge und nach Durchschneidung der verschiedenen Schenkel des Kleinhirns auftreten, dass die Nerven der Bogengänge als directe Fortsetzungen der verschiedenen Kleinhirnschenkel aufzufassen seien.

Die anatomische Untersuchung hat seine Annahme nicht bestätigt.

Nach Flourens hat unstreitig das grösste Aufsehen die Erklärung von Goltz gemacht.

Goltz sagt: Ob die Bogengänge Gehörorgan sind, bleibt

dahingestellt. Ausserdem aber bilden sie eine Vorrichtung, welche der Erhaltung des Gleichgewichts dient. Sie sind so zu sagen Sinnesorgane für das Gleichgewicht des Kopfes und unmittelbar des ganzen Körpers. Zum Beweise dieser Hypothese zeigt Goltz, dass die Herrschaft über die Bewegungen des Kopfes zur Erhaltung des Gleichgewichts unbedingt nothwendig ist, da sich die Gleichgewichtsstörung des Kopfes auf den Rumpf überträgt. Er näht dazu den Kopf einer Taube so an die Brust fest, dass der Scheitel nach unten zu liegen kommt, und macht dann mit der Taube Balancirversuche. Auf die Lehne eines Stuhles gesetzt, fällt sie aber bei Neigungen des Stuhles zur Erde. In der Luft losgelassen, stürzt sie wie ein Stein senkrecht zu Boden. Gegen diese Versuche lässt sich nichts einwenden. Es bleibt aber noch zu beweisen, dass die Verdrehung des Kopfes mit dem Scheitel zur Erde, welche nach Verletzung der Bogengänge vorkommt, auch wirklich auf diese Verletzung allein zu beziehen ist. Diesen Beweis hat Goltz, wie ich meine, nicht mit Sicherheit geführt. Goltz weist die Annahme, dass pathologische Vorgänge im Kleinhirn die Gleichgewichtsstörungen zur Folge haben könnten, mit der Bemerkung zurück, dass die Störungen sofort nach der Operation auftreten. Nun ist es vollkommen richtig, dass gewisse Bewegungen unmittelbar nach der Verletzung beginnen, aber gerade die Verdrehung des Kopfes mit dem Scheitel nach unten, das Symptom, welches Goltz hauptsächlich zur Aufstellung seiner Hypothese führte, tritt erst einige Tage nach der Operation auf. Nach der Art, wie Goltz operirte, war er aber der Gefahr ausgesetzt, schon während der Operation das Kleinhirn zu verletzen. Um die Bogengänge möglichst vollständig zu entfernen, grub er sie stückweise mit einem scharfen Meissel aus, konnte also nur durch einen glücklichen Zufall vor der Mitverletzung der *Processus cerebelli mesoetici* bewahrt bleiben. Auch die starke Blutung, von der Goltz berichtet, dürfte theilweise auf eine Mitverletzung dieser Kleinhirnfortsätze zu schieben sein. Sonach scheint es mir nicht erwiesen, dass die Verdrehung des Kopfes als directe Folge der Verletzung der Bogengänge aufzufassen sei.

Es scheint mir aber auch nicht möglich, die Bogengänge als ein Sinnesorgan zu betrachten. Durch die Sinnesorgane werden Empfindungen vermittelt, welche zu Wahrnehmungen und zur Bildung von Vorstellungen führen. Nach unserer bisherigen Auffassung ist aber bei den höhern Thierklassen die

Thätigkeit des Grosshirns zur Bildung von Vorstellungen erforderlich. Wie Goltz nun angibt, hat schon Flourens auch bei enthirnten Tauben die beschriebenen Erscheinungen nach Verletzung der Bogengänge gesehen. Ebenso treten sie in der Chloroformnarkose, durch die die Thätigkeit des Grosshirns aufgehoben wird, ein. Es steht somit fest, dass das Bewusstsein bei diesen Bewegungen keine Rolle spielt. Kann ich sonach die Hypothese von Goltz nicht bestätigen, so fragt es sich, ob eine von den andern bisher aufgestellten Hypothesen zur Erklärung der Erscheinungen ausreicht. Vulpian und Cyon haben den Versuch gemacht die Erscheinungen durch heftige Erregungen der Hörnerven zu erklären. Vulpian's Erklärung hat Goltz schon als unhaltbar zurückgewiesen. Es bleibt mir also nur übrig die Erklärung Cyon's einer Prüfung zu unterwerfen. Nachdem Cyon die Annahme, dass die nach Verletzung der Bogengänge auftretenden Bewegungen als Reflex-Erscheinungen aufgefasst werden könnten, zurückgewiesen (mit welchem Recht, werden wir später sehen), sagt er: „Es bleibt meiner Ansicht nach nur noch eine Möglichkeit übrig, dass durch die Durchtrennung der häutigen Kanäle beim Thiere eine Reihe von anomalen Gehörsempfindungen erzeugt werden, welche bei beiderseitig ausgeführter Operation so heftig sind, dass sie zu einem wahren Gehörschwindel Veranlassung geben. Dieser Gehörschwindel veranlasst auch die heftigen Kopfbewegungen.“ Zum Beweise dieser Ansicht führt Cyon an, dass unser Gang schwankend und unsicher wird, wenn unsere Gehörsnerven gleichzeitig durch zwei Musikstücke, welche ein ausgesprochenes aber verschiedenes Tempo haben (z. B., wenn zwei Musikchöre zwei verschiedene Märsche spielen) erregt werden. Die Richtigkeit dieser bekannten Thatsache kann aber nichts zum Beweise der Ansicht Cyon's beitragen, denn er nimmt ja nicht an, dass die Thiere in Folge der Verletzung der häutigen Kanäle mehrere rythmische Gehörsempfindungen mit verschiedenem Rhythmus, sondern eine Reihe heftiger und unregelmässiger (also doch wohl arhythmischer) Gehörsempfindungen erleiden. Unregelmässige Geräusche, wie das Brausen des Meeres, das Sausen des Windes, das Rauschen im Walde, verursachen aber, wie wir wissen, keinen schwankenden und unsichern Gang. Dann sprechen auch gegen Cyon's Ansicht die Angaben der beiden Kranken, welche bei den Pendelbewegungen des Kopfes über subjective Geräusche nicht zu klagen hatten. Cyon scheut auch vor der Consequenz

seiner Theorie nicht zurück, indem er annimmt, „dass auch diejenigen Empfindungen, welche bei Intactheit der Bogengänge dazu dienen, das Thier über die Stellungen seines Kopfes zu unterrichten, auch höchst wahrscheinlich Gehörsempfindungen sein müssen“. Nun wissen wir aber, dass bei den Menschen Gehörsempfindungen zur Kenntniss der Stellung des Kopfes nichts beitragen; es ist auch nicht abzusehen, woher es bei den Thieren der Fall sein soll. Sonach halte ich die Erklärung Cyon's für unbrauchbar.

Es ist endlich der Versuch gemacht worden, die nach Verletzung der Bogengänge auftretenden Bewegungen als Reflexerscheinungen zu erklären. Der eifrigste Verfechter dieser Hypothese ist Löwenberg. Er legt auf das Auftreten der Bewegungen bei enthirnten und chloroformirten Tauben grosses Gewicht und wie ich glaube mit Recht. Er macht Reizversuche an den blossgelegten häutigen Bogengängen und will das positive Resultat erhalten haben, dass nach Einwirkung von concentrirter Kochsalzlösung Tauben lebhaftere Bewegung zeigten, als vorher. Der Versuch, welchen er aus mehreren zur Mittheilung auswählt, scheint mir jedoch nicht ganz beweiskräftig. Es sei mir daher erlaubt, diesen Versuch wörtlich wiederzugeben.

„Einer Taube wird der rechte Verticalkanal mit einer Pincette zerdrückt, so dass ein Stück des häutigen Kanälchens herauszieht. Sofort Bewegungen des Kopfes nach rechts und Fallen des Thieres nach rechts bei Bewegungen. Trägt man ein Stückchen Kochsalz auf den häutigen Bogengang, so erfolgt keine Aenderung in den Erscheinungen; applicirt man aber eine concentrirte Kochsalzlösung, so zeigt das Thier Neigung, den Kopf mit der rechten Seite gegen die Wand zu stemmen, und die Bewegungen sind eine Zeit lang heftiger als früher.“

Gegen diesen Versuch lässt sich zuerst einwenden, dass man nach Verletzung eines verticalen Kanals Bewegungen von oben nach unten und nicht nach rechts erwartet; ferner ist der Versuch nicht rein, weil der häutige Bogengang erst gereizt wurde, nachdem er bereits verletzt war. Bei meinen Versuchen konnte ich nach chemischen Reizen vermittelst concentrirter Kochsalzlösung oder Höllesteinlösungen mit Deutlichkeit niemals Bewegungen des Kopfes beobachten. Auch die elektrischen Reizversuche führten nicht zu positivem Resultat, und so kann ich Löwenberg nicht beistimmen, dass die reflectorische Natur der Bewegungsstörungen nach Durchschneidung der Bogengänge durch die Experimente bewiesen ist. Fehlt aber bis jetzt auch

noch der volle Beweis für diese Hypothese, so hat sie doch die grösste Wahrscheinlichkeit für sich. Alle Einwände, welche gegen die reflectorische Natur dieser Bewegungsstörungen gemacht sind, lassen sich mit Leichtigkeit zurückweisen. So ist der Einwand Cyon's nicht stichhaltig, wenn er sagt: „Gegen eine solche Deutung spricht aber der Umstand, dass diese Bewegungen nur momentan, vorübergehend sind, oder auch gar nicht auftreten, wenn die Bogengänge nur auf einer Seite durchschnitten sind.“ Cyon würde Recht haben, wenn die Störungen nach einseitiger Verletzung ganz fehlten, sie sind aber immer vorhanden, nur schwächer und von kürzerer Dauer, als bei doppelseitiger Verletzung, sie nehmen aber auch bei einseitiger Verletzung eine grössere Intensität an und dauern länger, wenn die Verletzung eine ausgiebigere ist. Wer Stücke aus den Bogengängen auf einer Seite ausschneidet, wird die darauf folgenden Bewegungsstörungen nie übersehen können.

Goltz ist geneigt, die lebhaften Bewegungen, welche sofort nach Verletzung der Bogengänge eintreten, als reflectorische aufzufassen. „Dagegen ist es nicht denkbar, sagt er, dass die abnormen Bewegungen, welche die Thiere später zeigen, noch immer von der verletzten Stelle aus angeregt sind“. Nun hören aber bei einer Anzahl von Tauben die Pendelbewegungen des Kopfes nach einigen Tagen auf, es würde also auch für diese Tauben die Hypothese von der reflectorischen Natur der Bewegungsstörungen Geltung haben. Nur bei denjenigen Tauben, welche andauernd den Kopf mit dem Scheitel nach unten halten, soll diese Hypothese nicht mehr ausreichen. Ich will darum versuchen auseinanderzusetzen, wie ich mir diese Verdrehung des Kopfes entstanden denke.

Bei Thieren mit unversehrten Bogengängen wird bei jeder Bewegung des Kopfes ein Reiz auf die Nerven in den Ampullen stattfinden. Dieser Reiz pflanzt sich auf das Centrum der Coordination fort und führt zu einer reflectorischen Bewegung, welche bei normalen Bogengängen stets mit der beabsichtigten Bewegung übereinstimmt. Sind die Bogengänge aber beschädigt, so werden die Nerven in den Ampullen von andern Reizen getroffen und führen daher zu reflectorischen Bewegungen, welche sich mit den beabsichtigten nicht im Einklange befinden.

Aus diesem Widerspruch zwischen der ausgeführten und beabsichtigten Bewegung entsteht der Schwindel, welcher bei Tauben eine Verdrehung des Kopfes mit dem Scheitel nach

unten zur Folge hat. Es tritt diese Verdrehung des Kopfes daher nicht nur nach Verletzung der Bogengänge ein, sondern nach allen solchen Verletzungen des Kleinhirns, in Folge deren Bewegungen ausgeführt werden, die sich mit den beabsichtigten nicht in Uebereinstimmung befinden und daher zu Schwindel Veranlassung geben. Thiere, welchen das Grosshirn zerstört ist, machen zwar nach Verletzung der Bogengänge Pendelbewegungen mit dem Kopfe. Die Verdrehung des Kopfes habe ich aber an ihnen nie beobachtet. Sie können an Schwindel nicht leiden, weil ihnen das Bewusstsein fehlt.

Dass die Verdrehung des Kopfes Monate, ja Jahre hindurch bestehen bleibt, kann nicht Wunder nehmen, da durch die abnorme Kopfhaltung sicherlich Circulationsstörungen und dadurch pathologische Veränderungen im Kleinhirn gesetzt werden, die auch ihrerseits Bewegungsstörungen und Schwindel zur Folge haben können. Auch die Verdrehung des Kopfes im Schläfe lässt sich leicht begreifen. Wollte das Thier den Kopf während des Schlafes gerade halten, so würde es auf kleine Bewegungen des Kopfes, die in Folge der Schwere deshalb eintreten, mit reflectorischen Bewegungen reagiren und daher oft im Schläfe aufgeweckt werden. Es stützt daher lieber den Kopf mit den Scheitel auf die Erde.

Für die reflectorische Natur der Bewegungen spricht auch das Verhalten unseres zweiten Kranken. Der Wille ist oft im Stande Reflex-Bewegungen zu unterdrücken, und so vermag dieser Kranke die Bewegungen seines Kopfes, die immer eintreten, wenn er auf sich nicht achtet, sofort durch seinen Willen zu unterdrücken.

Die Bogengänge haben sonach die Function, die Coordination der Bewegungen auf dem Wege des Reflexes zu vermitteln. Sie leisten diese Arbeit in Verbindung mit zwei Sinnesorganen, mit dem Gesichts- und dem Gefühls-Sinn. Ob die Bogengänge auch zum Hören dienen, ist bis jetzt nicht festgestellt.

Königsberg, Anfang April 1874.

Literatur-Angaben.

- Flourens: Recherches expérimentales sur les propriétés et les fonctions du système nerveux etc. 2. édition p. 442 ss.
- Goltz: Ueber die physiologische Bedeutung der Bogengänge des Ohrlabyrinths. Pflüger's Archiv 1870. S. 172—193.
- Löwenberg: Ueber die nach Durchschneidung der Bogengänge des Ohrlabyrinths auftretenden Bewegungsstörungen. Archiv für Augen- und Ohrenheilkunde v. Knapp und Moos. 3. Bd. I. Abth.
- Schklarewsky: Nachrichten von der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Kleinhirn und Bogengänge der Vögel. Vorläufige Mittheilung. Vorgelegt von G. Meissner 12. Juni 1872.
- Harless: Wagner's Handwörterbuch der Physiologie. Bd. IV. S. 422.
- Czermak: Jenaische Zeitschrift. 3. Bd. 1867. S. 101.
- Vulpian: Leçons sur la physiologie générale et comparée du système nerveux. Paris 1866. S. 600.
- Schiff: Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Lahr 1858—1859. S. 399.
- Bei meiner Arbeit konnte ich nicht mehr berücksichtigen folgende Arbeiten:
- Breuer: Ueber die Function der Bogengänge des Ohrlabyrinths. Medicinische Jahrbücher herausgegeben von d. K. K. Gesellschaft der Aerzte in Wien.
- Mach: Physikalische Versuche über den Gleichgewichtssinn des Menschen. Aus dem LXVIII. Bde. der Sitzb. d. k. Akad. d. Wissensch. III. Abth. Nov.-Heft. Jahrgang 1873.
- Curschmann: Ueber das Verhältniss der Halbcirkelkanäle des Ohrlabyrinths zum Körpergleichgewicht. Vorl. Mittheilung (deutsche Klinik. No. 3. 1874).
-