

Aus der Hals-Nasen-Ohrenklinik mit Poliklinik der Freien Universität Berlin

Leiter: Prof. Dr. med. H. Scherer

DIE GESCHICHTE DER VESTIBULARISFORSCHUNG

**VON DEN ANFÄNGEN BEI PURKYNĚ
BIS ZU DEN FORSCHUNGSERGEBNISSEN VON BÁRÁNY**

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

des Fachbereichs

Humanmedizin

der Freien Universität Berlin

vorgelegt von: Engel-Murke, Frank

aus: Recklinghausen

Referent: Prof. Dr. H. Scherer

Koreferent: Prof. Dr. Dr. R. Winau

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Humanmedizin der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 27. März 1998

Inhaltsverzeichnis:

THEMENSTELLUNG:	4
1. EINLEITUNG	5
1.1 Zielsetzung der Arbeit	5
1.2 Arbeitsmethode	7
2. DIE MEDIZINHISTORISCHEN VORAUSSETZUNGEN	10
2.1 Die Geschichte der Anatomie des Innenohres	10
2.2 Die Geschichte der Physiologie des Innenohres	14
2.3 Die Entwicklung der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts	16
3. DIE FRÜHE PHASE DER GLEICHGEWICHTSFORSCHUNG	19
3.1 Untersuchungen an den Bogengängen	19
3.1.1 Marie Jean Pierre Flourens	19
3.1.2 Die Nachfolger Flourens'	22
3.2 Forschungen über den Schwindel	23
3.2.1 Erasmus Darwin	24
3.2.2 Jan Evangelista Purkyně	26
3.3 Prosper Ménière	30
4. DIE ENTDECKUNG DES GLEICHGEWICHTSORGANS	34
4.1 Friedrich Goltz	34
4.2 Der Jahreswechsel 1873/1874	38
4.3 Ernst Mach	41
4.3.1 Machs Gleichgewichtsforschung	41
4.3.2 Mach und die Physiologie	44
4.4 Josef Breuer	49
5. DIE ENTWICKLUNG DER LEHRE VOM VESTIBULARAPPARAT	54
5.1 Andreas Högyes	58
5.2 Ernst Julius Richard Ewald	62
5.3 Elie von Cyon	67
5.4 Untersuchungen mit elektrischem Strom	72
5.5 Die Funktion der Otolithen	75

6. BOGENGÄNGE UND HÖREN	81
6.1 Geräuschperzeption durch die Bogengänge	81
6.2 Victor Hensen	84
6.3 Ungewöhnliche Theorien zum Innenohr	86
6.3.1 Richtungshören durch die Bogengänge	86
6.3.2 Die direkte Erregbarkeit des Nervus acusticus durch Schall	87
6.3.3 Das Lichtlabyrinth	89
6.4 Das Gehörorgan der Fische	90
7. KLINISCHE BETRACHTUNGEN	93
7.1 Untersuchungen von Gehörlosen	93
7.2 Die Vorstellungen der Kliniker	98
7.3 Der Zusammenhang zwischen thermischen Reizungen und Nystagmus	103
7.4 Robert Bárány	108
8. ZUSAMMENFASSUNG	112
9. SCHLUßBEMERKUNG	115
VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN:	117
LITERATURVERZEICHNIS:	118
Literatur vor 1920:	119
Literatur nach 1920:	133

Themenstellung:

Die vorliegende Arbeit behandelt die Entwicklung der Vestibularisforschung bis zu den Anfängen des 20. Jahrhunderts. Der Königsberger Physiologe Friedrich Goltz sprach 1870 als erster die Vermutung aus, daß die Bogengänge "Sinnesorgane für das Gleichgewicht des Kopfes und mittelbar des ganzen Körpers"¹ sind. Diese These wurde fast vierzig Jahre lang kontrovers diskutiert. Im Verlauf dieser Auseinandersetzungen wurden von vielen Physiologen, Anatomen, Otologen und Neurologen wichtige Erkenntnisse hinzugefügt und Irrtümer Goltz' korrigiert. Einen vorläufigen Höhepunkt, der auch den Abschluß dieser Arbeit markiert, erlebte die Vestibularisforschung mit der Entwicklung der klinischen Gleichgewichtsprüfungen durch Robert Bárány, der für seine Arbeiten 1914 den Nobelpreis erhielt.

¹ Goltz (1870) S. 187

1. Einleitung

1.1 Zielsetzung der Arbeit

Bisher ist keine ausführliche medizinhistorische Arbeit speziell über die frühe Phase der Vestibularisforschung erschienen. Bárány verfaßte im Jahr 1913 eine vierseitige Zusammenfassung der Gleichgewichtsforschung.² In späterer Zeit erschienen weitere kürzere Darstellungen zu diesem Thema.³ Bereits in den neunziger Jahren des 19. Jahrhunderts wurden zwei wichtige zusammenfassende Arbeiten veröffentlicht, und zwar von Stanislaus von Stein⁴ und von L. William Stern.⁵ In dieser Zeit war die Funktion der einzelnen Teile des Labyrinths jedoch noch strittig. Diese Abhandlungen dienten somit nicht einer medizinhistorischen Beurteilung, sondern sollten die zu diesem Zeitpunkt bekannten Veröffentlichungen zusammenfassend darstellen, um durch eine solche Abhandlung die Streitfragen herauszuarbeiten und zielgerichtete Forschung anzuregen.

Die Arbeit von Stanislaus von Stein ist sehr umfassend und hat in der von Krzywicki besorgten Übersetzung des 1892 erschienenen russischen Originals einen Umfang von 700 Seiten, von denen sich 500 auf Versuche an den Bogengängen, Utriculus und Sacculus beziehen. Sie stützt sich auf ca. 120 Veröffentlichungen und stellt die Ergebnisse der Studien, die aus diesen Studien gezogenen Schlußfolgerungen, die darauf aufbauenden Hypothesen und die von anderen Forschern vorgebrachten Einwände ausführlich und mit dem Bemühen um Objektivität dar. Eine Gliederung nach der untersuchten anatomischen Struktur, dem verwendeten Versuchsmodell und dem experimentellen Verfahren sollte es jedem Forscher ermöglichen, zu jeder speziellen Frage bzw. jeder gegebenen Versuchsanordnung die bereits gefundenen Ergebnisse zu berücksichtigen.

² Bárány, Robert: Die Geschichte der Physiologie des Vestibularapparates seit 1850. In Politzer (1907/13 II) S. 49-53

³ Bárány (1913), Matzker (1958), Decher (1964)

⁴ Stein (1894)

⁵ Stern (1895)

Die Arbeit von Stern ist eine mit zweckmäßigen Sach- und Personalindizes versehene, chronologische Bibliographie mit einer kurzen Inhaltsangabe der einzelnen Veröffentlichungen. Sie umfaßt noch 100 Nummern mehr als die Arbeit von Steins und weist allein zwischen 1870 und 1895, dem Erscheinungsjahr dieser Bibliographie, 216 Veröffentlichungen nach.

Eine frühe medizinhistorische Arbeit stellt Ernst Wodaks "Kurze Geschichte der Vestibularisforschung"⁶ dar. Wodak war selbst auf dem Gebiet der Vestibularisforschung tätig und stellte in diesem 1956 geschriebenen Buch die Beiträge der verschiedenen Länder zur Vestibularisforschung vor. Da Wodak Kliniker war, begann die Entdeckung des menschlichen Vestibularapparates für ihn praktisch erst mit der Entwicklung der klinischen Prüfungen durch Bárány. Die Forschungsarbeiten bis zum Jahr 1910 handelte er auf wenigen Seiten als Vorarbeiten zu der mit Bárány beginnenden "klinischen Lehre vom Vestibularapparat" ab.

"So wurden auch die klinische Lehre vom Vestibularapparat und seine Untersuchungsmethoden am Menschen in Wien von Robert Bárány gefunden."⁷

Ohne die Leistungen Báránys schmälern zu wollen, scheinen in dieser Einschätzung doch die Verdienste der früheren Forscher zu gering geachtet zu werden. Es ist somit an der Zeit, die Diskussionen und Auseinandersetzungen des ausgehenden 19. und beginnenden 20. Jahrhunderts zu diesem Thema genauer zu untersuchen. Dies möchte die vorliegende Arbeit leisten.

Wenn auch die Literatur zu diesem Thema möglichst vollständig berücksichtigt werden soll, will diese Arbeit mehr sein als nur eine Bibliographie der damals erschienenen Veröffentlichungen. Ebenfalls erscheint eine exakte Protokollierung der durchgeführten Versuche zwar zu Zeiten von Stanislaus von Stein nützlich, würde jedoch heute wenig befriedigen.

Es soll untersucht werden, wie die damalige wissenschaftliche Welt auf die 1870 erstmals geäußerte Hypothese eines zusätzlichen Sinnesorgans reagierte und wie man sich an die Lösung des Problems herantastete. Hierzu muß zum einen das Umfeld dieser Forschungen beleuchtet werden, und dies soll in dem Kapitel über die medizinhistorischen Voraussetzungen gezeigt werden, zum anderen sollen die "älteren" Gleichgewichtsforscher wie Flourens, Ménière, E. Darwin und vor allem Purkyně zu Wort kommen, die wichtige Vorarbeiten für Goltz und die weiteren Vestibularisforscher geleistet haben.

⁶ Wodak (1956)

⁷ Wodak (1956) S. 1

Die vorliegende Arbeit will die Konzepte aufzeigen, die damals zur Erklärung der experimentellen Beobachtungen dienen sollte. Aus diesem Grunde sind z.B. der Mach-Breuerschen Theorie, dem Tonuslabyrinth Ewalds und dem Raumsinn Cyons eigene Abschnitte gewidmet. Hinter all diesen Überlegungen sollen die Wissenschaftler, die sie äußerten, auch als Menschen sichtbar werden.

Man kann nicht über die Physiologie des Vestibularapparates reden, ohne die Forschungsergebnisse über die Physiologie der Schnecke zu diskutieren. So beschäftigte sich von Stein im ersten Abschnitt seiner "Lehren..." mit den Untersuchungen über die Cochlea. Zwar war Helmholtz' grundlegendes Werk⁸ bereits 1857 erschienen, von einer endgültigen Theorie des Hörens aber konnte noch keine Rede sein. Übrigens muß noch 1979 in einem Handbuch der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde festgestellt werden, daß "auch heute noch niemand die Transformation mechanischer Schallwellen in nervöse Erregungen des Innenohres vollständig beschreiben"⁹ kann.

Insgesamt ist die Auseinandersetzung über die Funktion des Vestibularapparates geprägt von einem Zeitalter, das endgültig Abschied nehmen will von vitalistischen Vorstellungen, das sich der Materie als dem Substrat naturwissenschaftlicher Forschung zuwendet und sich bemüht, mit wissenschaftlichen Methoden eine Klärung herbeizuführen. Insofern ist es sicherlich kein Zufall, daß die Entdeckung dieses etwas im Verborgenen arbeitenden Sinnesorgans genau in dieser Zeit erfolgte. Es erweist sich aber auch als richtig, was Max Planck feststellen mußte:

"Eine neue wissenschaftliche Wahrheit pflegt sich nicht in der Weise durchzusetzen, daß ihre Gegner überzeugt werden und sich als belehrt erklären, sondern vielmehr dadurch, daß die Gegner allmählich aussterben und daß die heranwachsende Generation von vornherein mit der Wahrheit vertraut gemacht ist."¹⁰

1.2 Arbeitsmethode

Während erste wichtige Aufsätze z.B. von Flourens und Ménière auch aus Frankreich kamen, so sind doch die meisten Ergebnisse an deutschsprachigen Universitäten erzielt worden. Das zeigt auch die Bibliographie Sterns, der, wie es scheint, tatsächlich "von den

⁸ Helmholtz (1857)

⁹ Keidel, W.D., Kallert, S. Physiologie des afferenten akustischen Systems. In Berendes (1979) Band 5, I Kapitel 8 S. 1

¹⁰ Planck, Max. Physikalische Abhandlungen und Vorträge. III. Band S. 389 Braunschweig (1958)

[...] erschienen Schriften in deutscher, französischer, englischer, auch russischer, italienischer und ungarischer Sprache keine von wesentlicher Wichtigkeit [...] unberücksichtigt"¹¹ gelassen und vor allem deutschsprachige Veröffentlichungen nachgewiesen hat.

Grundsätzlich stützt sich die vorliegende Arbeit vor allem auf die in den wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlichte Originalliteratur und die entsprechenden Monographien, soweit es um den zentralen Gegenstand der physiologischen Forschung über den Vestibularapparat geht. Zusätzliche Hinweise konnten durch zeitgenössische Lehr-, Hand- und Jahrbücher gewonnen werden. Um die Literatur möglichst vollständig zu erfassen, wurden die kompletten Jahrgänge der einschlägigen otologischen und physiologischen Zeitschriften gesichtet:

1. Archiv für Augen- und Ohrenheilkunde
2. Archiv für Ohrenheilkunde
3. Zeitschrift für Ohrenheilkunde
4. Monatsschrift für Ohrenheilkunde
5. Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere
6. Archiv für Anatomie und Physiologie. Physiologische Abteilung.
7. Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane

Durch diese Vorgehensweise konnte sichergestellt werden, daß alle entscheidenden, aber auch die meisten nicht so wichtigen Veröffentlichungen erfaßt wurden. Während die Zeitschriften unter 5. und 6. nur Originalaufsätze enthalten, finden sich in den übrigen Zeitschriften ausführliche Literaturbesprechungen auch nichtdeutschsprachiger Veröffentlichungen und in den Zeitschriften unter 7. zusätzliche, jährlich erschienene, ausgezeichnet geordnete Bibliographien. Die meisten Veröffentlichungen zu dem in dieser Arbeit behandelten Themenbereich weist das "Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere" auf.

Gerade die verwendeten otologischen Veröffentlichungen (1., 2., 3., 4.) spiegeln in interessanter Weise die Entwicklung der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde wider, die sich in der letzten Hälfte des 19. Jahrhunderts ja erst die Anerkennung als eigenständige Fachdisziplin erkämpfen mußte. Der Anspruch, eine eigene Fachdisziplin zu sein, wird gerade auch durch die neuen Spezialzeitschriften dokumentiert. Alle diese Zeitschriften erschienen erstmals in den sechziger Jahren des 19. Jahrhunderts. Das "Archiv für Augen- und Ohrenheilkunde" beschreibt die bei seinem ersten Erscheinen im Jahr 1869 schon fast veraltete gemeinsame Ausübung der Augen- und Ohrenheilkunde und trennt sich 1879 in

¹¹ Stern (1895) S. 1

ein "Archiv für Augenheilkunde" und die "Zeitschrift für Ohrenheilkunde". Die "Monatsschrift für Ohrenheilkunde" wiederum sieht in ihrer Themenwahl und Namensgebung die Entwicklung zur Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde voraus und nennt sich ab ihrem 5. Jahrgang 1872 "Monatsschrift für Ohrenheilkunde sowie für Kehlkopf-, Nasen-, Rachen-Krankheiten". Dementsprechend groß ist in dieser Zeitschrift auch der Anteil der für die vorliegende Arbeit nicht interessierenden Veröffentlichungen aus der Rhino- und Laryngologie.

Fast die gesamte Literatur wurde im Original gesichtet. Einige ältere Schriftstücke aus der Zeit vor 1870 waren jedoch nur über Sekundärquellen verfügbar. Biographische Daten und Angaben zur Geschichte und Medizingeschichte wurden ebenfalls der Sekundärliteratur entnommen. Werden innerhalb von Zitaten eckige Klammern verwendet, so wurden an dieser Stelle vom Autor dieser Arbeit entweder einzelne Wörter oder auch längere Passagen weggelassen oder einzelne Wörter hinzugefügt, ohne jedoch den Sinn des Zitats zu entstellen.

2. Die medizinhistorischen Voraussetzungen

In diesem Kapitel sollen die medizinischen Fachrichtungen beleuchtet werden, in deren Umfeld die Vestibularisforschung stattfand. Deshalb wird in zwei Abschnitten der Erkenntnisgewinn in Anatomie und Physiologie des Innenohres von den Anfängen der Medizin bis ca. zum Jahre 1800 kurzgefaßt dargestellt. Diesen beiden Absätzen wurde vor allem das Werk von Adam Politzer "Geschichte der Ohrenheilkunde" aus dem Jahre 1907 zugrundegelegt. Rothschild schreibt 1967 in seinem Vorwort zum Nachdruck dieses Werkes: "Politzers Darstellung [...] war die bis dahin umfassendste Abhandlung des Gebiets und ist es bis heute geblieben."¹² Im dritten Abschnitt schließlich wird die im 19. Jahrhundert stattfindende Entwicklung der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde skizziert.

2.1 Die Geschichte der Anatomie des Innenohres

Ohne Kenntnisse der Anatomie des menschlichen Körpers sind Aussagen zur Physiologie rein spekulativ. Die Anatomie ist also eine wichtige Grundlage aller medizinischen Wissenschaften. Das innere Gehörorgan liegt im härtesten Knochen des menschlichen Körpers und ist einer Untersuchung somit schlecht zugänglich. Die anatomischen Kenntnisse über das Gehörorgan waren aus diesem Grunde lange Zeit gering.

Hippokrates (460-377 v.Chr.) soll als erster das Trommelfell als Bestandteil des Gehörorgans hervorgehoben haben.¹³ Aristoteles (384-322 v.Chr.) dürfte an Tieren die Ohrtrumpete und die Schnecke gesehen, doch wenig beachtet haben.¹⁴ Erasistratus (um 330 - 250 v.Chr.) soll bereits der Gehörnerv genau bekannt gewesen sein.¹⁵ Galen (130 - 200 n.Chr.) verwandte als erster den Begriff LABYRINTH für das innere Ohr, einen Terminus, der nach Politzer jedoch mehr auf eine Unkenntnis anatomischer Details des

¹² Politzer (1907/13) S.III

¹³ Politzer (1907/13) I S.14

¹⁴ Politzer (1907/13) I S.19

¹⁵ Politzer (1907/13) I S.21

Innenohres schließen läßt. Die einzige positive Leistung der Galenschen Ohranatomie läge in der Unterscheidung des Gehör- und Antlitznervs.¹⁶

Auf Galen folgten mehrere Jahrhunderte, in denen weder die Medizin insgesamt noch die Otologie wirkliche Fortschritte erlebte. Mondino de Liuzzi (ca. 1275 - 1326) erzielte zwar durch seine Leichensektionen wichtige anatomische Erkenntnisse, zur Anatomie des Gehörorgans trug jedoch auch er kaum etwas bei. Der Zeitpunkt der Entdeckung von Hammer und Amboß wird von den Historikern für die zweite Hälfte des 15. Jahrhunderts angesetzt und Achillini (1463-1512) und Berengario da Carpi (ca. 1470-1550) zugeschrieben. Da sich diese Knöchelchen jedoch schon bei oberflächlicher Zergliederung zeigen, ist es sehr wahrscheinlich, daß sie schon von früheren Ärzten und Anatomen gesehen, aber in ihrer Bedeutung nicht erkannt worden sind.

Im 16. Jahrhundert schließlich wurde in Italien vor allem durch Vesal die klassische anatomische Ära eingeleitet, während der Ingrassia, Eustachio und Fallopio für die Otologie die wesentlichen Leistungen erbrachten. Vesal (1514-1564) machte zwar wesentliche Fortschritte bezüglich der Erforschung des Mittelohrs, jedoch trug er zur Kenntnis des inneren Ohres wenig bei.¹⁷ Ingrassia (1510-1580) fand als erster den Steigbügel.¹⁸ Eustachio (1510-1574) beschrieb detailliert die nach ihm benannte Eustachische Röhre und den Tensor tympani. Er zeigte Abbildungen verschiedener Schnitte der Pars petrosa des Schläfenbeins und entdeckte die Spindel und die häutige Zone der Lamina spiralis.¹⁹ Fallopio (1523-1562) beschrieb sehr exakt das Vestibulum, die Schnecke und die Bogengänge und entdeckte den Canalis facialis.²⁰ Diese Phase der anatomischen Forschungen findet mit Giulio Casserio (1561-1616) einen ersten Abschluß. Sein Fleiß und seine Exaktheit machen seine Werke zu den besten in der älteren Literatur über die Anatomie. Vorzüglich sind seine Untersuchungen und Abbildungen des inneren Ohres. Er kannte den Vorhof und wußte, daß die Bogengänge mit fünf Öffnungen in diesen einmünden.

Erst zum Ende des 17. Jahrhunderts konnte die Anatomie des Innenohres weitere Fortschritte verzeichnen. Natürlich trug die Erfindung des Mikroskops dazu wesentlich bei. Die größeren Strukturen waren bereits von den Anatomen des 16. Jahrhunderts beschrieben worden. Nun galt es, weiter ins Detail zu gehen. Wiederum war Italien der

¹⁶ Politzer (1907/13) I S.27

¹⁷ Politzer (1907/13) I S.84

¹⁸ Politzer (1907/13) I S.87. Es gab jedoch Prioritätsstreitigkeiten unter anderem mit Eustachius und Fallopius.

¹⁹ Politzer (1907/13) I S.99

²⁰ Politzer (1907/13) I S.92

Ausgangspunkt dieser Entwicklung. Von Valsalva (1666-1723) existiert das erste Präparat eines Gehörorgans im Zusammenhang. Er bezeichnete die Bogengänge nach ihrer Länge als *Canalis semicircularis major*, *minor*, *minus* und konstatierte als erster das Vorhandensein einer wäßrigen Flüssigkeit im Labyrinth. Erstmals führte er eine Trommelfellinspektion am lebenden Menschen durch, die ihn auch zu seinem Valsalva-Versuch anleitete. Sein Schüler Morgagni (1682-1771) gab seine eigenen umfangreichen "*Epistolae anatomicae*" als Kommentar zu Valsalvas "*Tractatus de aure humana*" heraus. Domenico Cotugno (1736-1822), Schüler Morgagnis, wiederum gebührt das Verdienst, in seiner Dissertation "*De aquaeductibus auris humanae internae anatomica dissertatio*" (Neapel 1760) eine vor allem für die Physiologie des Ohres wichtige anatomische Entdeckung formuliert zu haben. Zwar hatten auch Valsalva oder Morgagni die Labyrinthfeuchtigkeit beobachtet; Cotugno aber war der erste, der nachwies, daß das gesamte Labyrinth mit Labyrinthflüssigkeit ausgefüllt ist. Zudem beschrieb er die *Aquaeductus cochleae et vestibuli*.

Während also die Anatomie des knöchernen Labyrinths gut bekannt war, blieb es Antonio Scarpa (1747-1832) vorbehalten, das häutige Labyrinth zu beschreiben. Politzer sieht in dem 1789 erschienenen Werk "*Disquisitiones anatomicae de auditu et olfactu*" "einen Grenzstein in der otologischen Forschung, indem es die vormikroskopische Methode insofern zum Abschluß brachte, als die meisten Angaben Scarpas noch heute [1913] Geltung haben"²¹. Scarpa beschrieb die Peri- und die Endolympe und ebenfalls die Otolithen.

Die Konstruktion besserer Mikroskope und die Einführung neuer Färbemethoden erlaubten gerade in der Histologie genauere Erkenntnisse. Zu nennen sind hier einmal Corti (1851) und Kölliker (1852). Eine wesentliche Triebfeder für genauere anatomische Forschungen war sicherlich immer wieder das Bemühen um ein besseres Verständnis der Physiologie. So wurden z.B. gerade im physiologischen Institut von Kiel durch seinen Leiter Hensen, der im weiteren Verlauf der Arbeit noch ausführlicher zu Wort kommen wird, und dessen Schüler Hasse eine ganze Serie von Veröffentlichungen zur Anatomie, Histologie und Entwicklungsgeschichte des gesamten Gehörorgans vorgelegt.²² Ein wichtiges Problem in diesem Zusammenhang war die Erforschung der Strukturen, in denen die zum Hörorgan ziehenden Nerven endeten, da man durch diese Untersuchungen Aufschlüsse über den auslösenden physikalischen Reiz für das Gehörorgan erwartete. Diese Frage legte sich

²¹ Politzer (1907/13) I S.264

²² Hensen (1963 a, b), Hasse (1967 a, b, c, d, 1968 a, b)

auch Gustaf Retzius vor²³, der in seinem monumentalen zweibändigen Werk "Das Gehörorgan der Wirbelthiere" nicht nur eine ausführliche Darstellung der Anatomie des Ohres geliefert, sondern auch eine bibliophile Kostbarkeit geschaffen hat.

Retzius' Werk stellte einen gewissen Abschluß der anatomischen Forschungen über das Gehörorgan dar, aber natürlich blieben noch viele Detailfragen offen, die zum Teil auch von den Gleichgewichtsforschern bearbeitet wurden. So referierte Breuer 1900 im physiologischen Club zu Wien über die Konsistenz der Cupulaflüssigkeit²⁵ und legte 1907 eine Arbeit zur Anatomie der Vogelschnecke vor²⁶, in der er die Bedeutung seiner Untersuchungen für die verschiedenen Hörtheorien diskutierte.

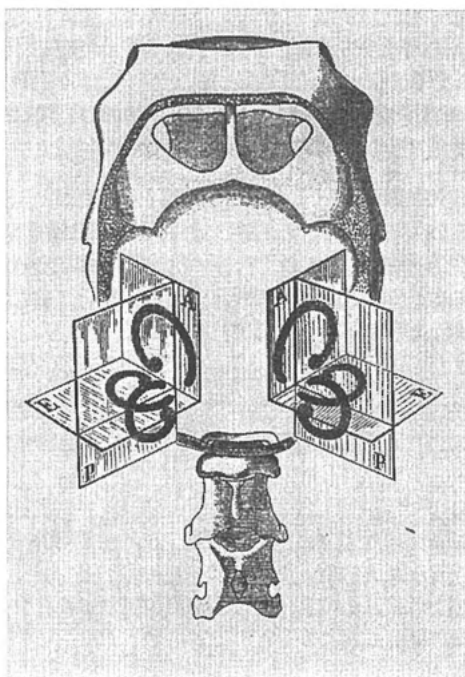


Abb. 1 Schema der Bogengänge²⁴

Kennzeichnend für die sich erst allmählich fest etablierenden anatomischen Kenntnisse ist auch die Uneinheitlichkeit der verwendeten Nomenklatur. Bekanntlich bilden die drei Bogengänge annähernd die Ecke eines Würfels, dessen Spitze zur Kopfmitte zeigt, dessen Boden mit der Horizontalebene übereinstimmt und dessen andere Seiten jeweils einen Winkel von ca. 45° mit der Medianebene des Körpers bilden. Heute werden die

²³ "...habe ich daher wesentlich zum Ziele gehabt, die Gestalt und den Bau des membranösen Gehörorganes, vor Allem aber die Nervenendstellen desselben [...] kennen zu lernen" Retzius (1884) S. V

²⁴ Zeichnung entnommen aus Ewald (1892) S. 78

²⁵ "Vortragender zeigt an Präparaten, dass - wie jetzt fast allgemein anerkannt - die Haare nicht isoliert in die Endolymphe hineinragen, sondern durch eine consistentere Masse zu einem constanten, formbeständigen Gebilde, der Cupula terminalis zusammengehalten werden." Breuer (1900) S. 512

²⁶ Breuer (1907)

Bogengänge beim Menschen als "Ductus semicirculares anterior, posterior et lateralis" bezeichnet. Im 19. Jahrhundert verwendete fast jeder seine eigene Nomenklatur, einzig war man sich nur darüber, die Bogengänge als "Canales semicirculares" zu bezeichnen. Von Stein führt über zwei Seiten die verschiedensten Bezeichnungsarten auf.²⁷ Verbreitet war eine Unterscheidung zwischen dem horizontal liegenden Ductus lateralis und den beiden vertikal stehenden Ductus anterior et posterior.

In Verbindung mit der neuen Erkenntnis, daß das Innenohr nicht nur dem Hören dient, wurden dann auch neue Vorschläge für die Bezeichnung des achten Hirnnerven gemacht. Spamer schlug vor, den Namen "Nervus vestibulo-cochlearis" zu wählen²⁸. Ewald machte einfach den Namen "Nervus octavus" zum Titel seines bedeutenden Buches über die Gleichgewichtsforschung.²⁹

2.2 Die Geschichte der Physiologie des Innenohres

Basierend auf den lange Zeit dürftigen anatomischen Kenntnissen, wurden auch Vermutungen über die Physiologie des Hörakts angestellt. Die Untermauerung dieser Spekulationen durch physiologische Experimente begann jedoch erst im ausgehenden 17. Jahrhundert.

Schon den Griechen war bekannt, daß Schall durch Luftbewegung übertragen werden kann. Entsprechend seiner Elementenlehre war für Aristoteles die Luft das Element des Gehörs. Die Physiologie des Hörens dachte er sich folgendermaßen: "Die Bewegungen der äusseren Luft erreichen das Ohr und bringen die in demselben eingeschlossene innere Luft in Bewegung."³⁰ Diese Theorie der "aer implantatus" oder "aer ingenuus" wurde auch von Galen geteilt. Dank der gottgleichen Autorität Aristoteles' und Galens hatte diese Vorstellung einer "aer implantatus" Jahrtausende lang Bestand.

Die Anatomen des 16. Jahrhunderts waren die ersten, die sich aufgrund neuer anatomischer Erkenntnisse auch zur Physiologie des Hörens äußern können. Sie erwiesen sich aber als vorsichtige Wissenschaftler, indem sie zwar die Anatomie weiter

²⁷ Stein (1894) S. 198

²⁸ Spamer (1880) S. 585

²⁹ Ewald (1892)

³⁰ Stein (1894) S.6-7

erforschten, sich aber sehr zurückhaltend zur Physiologie des Hörens äußerten im Bewußtsein, dazu noch über zu wenige Fakten zu verfügen.

Die Entdeckung der Perilymphe im Innenohr durch Cotugno bedeutete eine Revolution für die Hörphysiologie. Die Vorstellung eines "aer implantatus" war nun nicht mehr zu halten. Cotugno stellte in seiner Dissertation, in der er seine anatomischen Erkenntnisse formulierte, auch eine neue Hörtheorie auf. Zwar wurde ihre Unzulänglichkeit bereits durch Scarpas Entdeckung des häutigen Labyrinths evident, Cotugno jedoch sprach richtig von einer Schallübertragung durch Trommelfell und Gehörknöchelchen auf das Labyrinthwasser. Ebenso sah er in der Schnecke einen abgestimmten Apparat zur Tonempfindung; aber auch der Vorhof sollte entscheidend zur Schallwahrnehmung beitragen.

Wichtig für die Physiologie des Hörens ist das große Werk Hallers (1708-1777) "Elementa physiologiae corporis humani" aus den Jahren 1757-1766. Haller selbst erklärte zwar, daß er keine eigenen Ideen zur Erforschung des Hörorgans beigetragen hat, jedoch "gebührt ihm [...] das große Verdienst, ausgerüstet mit einer umfassenden Literaturkenntnis und Gelehrsamkeit, eine für seine Zeit in jeder Beziehung mustergültige Anatomie und Physiologie des Ohres geschaffen zu haben."³¹ Seine Vorstellung von der Funktion der Tube ging in die richtige Richtung, und er unterschied als erster scharf zwischen Knochen- und Luftleitung. Er formulierte eine Hörtheorie, die eine Schallperzeption auf das Mitschwingen transversal zur Schneckenachse gespannter Chorden zurückführt. Die längeren Chorden an der Schneckenbasis sollten die tieferen und die kürzeren an der Schnecken spitze die höheren Töne empfinden können. Voraussetzung zur Gehörsempfindung sei ein Nerv mit hartem Gehalt, welcher durch den Ton in Schwingungen gerät.³²

Im 19. Jahrhundert wurde endgültig der Übergang von romantisch geprägten Naturforschern zu naturwissenschaftlich-materialistischen Wissenschaftlern vollzogen. Purkyně war noch stark von naturphilosophischen Überlegungen beeinflusst. Johannes Müller (1801 - 1858), der bedeutende Physiologe, stand sozusagen auf der Schwelle zu einer neuen Ära. Er selbst war noch Vitalist und hegte eine Abneigung gegen das Experiment, die in dem bekannten Faustzitat zum Ausdruck kommt:

Geheimnisvoll am lichten Tag,
Läßt sich Natur des Schleiers nicht berauben,
Und was sie deinem Geist nicht offenbaren mag,
Das zwingst du ihr nicht ab mit Hebeln und mit Schrauben.

³¹ Politzer (1907/13) I S.312

³² Zit. nach Stein (1894) S. 43

Müllers Schüler aber wie Emil Du Bois-Reymond, Ernst Brücke und Hermann Helmholtz waren schon die bedeutendsten Protagonisten einer antivitalistischen, modernen Experimentalphysiologie. Sie versuchten vor allem mit physikalischen Methoden, den Naturerscheinungen alles Mystische zu nehmen. Auch die neue Zellulärpathologie wurde maßgeblich gestaltet von Müller-Schülern wie Rudolf Virchow, Jakob Henle und Theodor Schwann.

Im folgenden kommt Müller noch mit einigen allgemeinen Aussagen zur Funktion des Innenohrs zu Wort. In seinem "Handbuch zur Physiologie des Menschen" finden sich jedoch auch Aussagen speziell zur Funktion der Bogengänge. Er schreibt: "Man setzt die Funktion der halbcirkelförmigen Canäle gewöhnlich mit Scarpa in die Sammlung der Wellen aus den Kopfknochen.[...] Autenrieth und Kerner nahmen an, dass die verschiedenen Canäle auch im Stande seien die Direction des Schalls dem Nerven anzuzeigen. Allein die Direction des Schalls scheint [...] kein Gegenstand der Empfindung zu seyn."³³ Dies zeigt, daß die physiologischen Erkenntnisse über die Funktion der Bogengänge recht gering waren und man nur Vermutungen äußerte. Die Ansicht Autenrieths und Kerners über die Empfindung der "Direction des Schalls" wurde jedoch auch später wieder aufgegriffen.

2.3 Die Entwicklung der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts

"Neuer Spezialismus - Laboratorium und Experiment" überschreibt Erna Lesky den dritten und letzten Zeitabschnitt in ihrem Buch "Die Wiener medizinische Schule im 19. Jahrhundert"³⁴. In diesen Zeitraum fällt auch die Periode der Gleichgewichtsforschung, die in dieser Arbeit behandelt wird. Der zitierte Titel beschreibt zwei Entwicklungen, die auch in Deutschland zu beobachten waren: Die Entwicklung der Forschungsmethoden weg von einer "Beobachtungsmedizin, die vor allem in der Rokitansky-Zeit im Morphologisch-Deskriptiven ihre Triumphe gefeiert hatte"³⁵, hin zu einer vor allem von den Physiologen du Bois, Brücke und Ludwig geprägten Forschung durch Laboratoriumsexperimente und, damit einhergehend oder sich daraus entwickelnd, die weitere Herausbildung von Spezialfächern sowohl in den "theoretischen" als auch den "klinischen" Fächern.

³³ Müller (1838) S. 460-462

³⁴ Lesky (1965)

³⁵ Lesky (1965) S.304

Dementsprechend ist auch für die Entwicklung der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts sehr wichtig. Das heutige gemeinsame Arbeitsgebiet speist sich aus zwei Quellen, aus der Ohrenheilkunde und aus der Laryngo-Rhinologie. Im 19. Jahrhundert waren diese Gebiete noch getrennt, und beide kämpften damals um ihre Anerkennung als eigenständige medizinische Disziplinen. Die Ohrenheilkunde wurde oft mit der Augenheilkunde zusammen ausgeübt. Die Laryngologie gehörte am ehesten zur Inneren Medizin.

Um die Mitte des 19. Jahrhunderts gab es keinen universitären Unterricht in der Ohrenheilkunde.³⁶ Die erste Universitätsotorenklinik der Welt wurde 1873 in Wien gleichberechtigt den beiden Otologen Politzer und Gruber übertragen. Die deutschen Protagonisten der Ohrenheilkunde waren von Tröltsch in Würzburg und Schwartze in Halle. Die Wurzeln der Ohrenheilkunde lagen in der Chirurgie. Die operative Behandlung der Komplikationen der Mittelohrentzündungen begründete die Erfolge der Ohrenheilkunde. Daraus erwuchs auch die Notwendigkeit einer Anerkennung als eigenes Spezialgebiet. 1878 wandte sich von Tröltsch an das Reichskanzleramt, um zu erreichen, daß die Ohrenheilkunde, die inzwischen an vielen Universitäten einen eigenen Fachvertreter stellte, als Pflichtfach in die ärztliche Abschlußprüfung aufgenommen wurde.³⁷ 1892 wurde in Frankfurt am Main die "Deutsche otologische Gesellschaft" gegründet.³⁸ Aber erst 1901 wurde das erste Ordinariat für Ohrenheilkunde in Deutschland für Körner in Rostock geschaffen. Bereits im Wintersemester 1875/76 sollte von Tröltsch in Würzburg ein Ordinariat übernehmen.³⁹ Allerdings wurde ihm kein Ordinariat für Ohrenheilkunde angeboten, sondern er sollte den Lehrauftrag für gerichtliche Medizin annehmen. Aus diesem Grunde bat von Tröltsch damals darum, den Vorschlag zurückzuziehen.

Die Laryngologie nahm seit der 1857 von Türck und Czermak praktizierten Kehlkopfspiegelung eine rasche Entwicklung als ein Spezialfach der inneren Medizin. Bereits in der Frühphase wurden erste endolaryngeale Eingriffe durchgeführt, und zwar ohne Anästhesie! Bedeutenden Auftrieb erhielt die Laryngologie durch die Einführung der Kokain-Anästhesie durch Jellinek (1884).⁴⁰ Nun war es möglich, ohne "eine über Wochen sich erstreckende Einübung der Kranken"⁴¹ endolaryngeal zu arbeiten.

³⁶ Majer (1980) S.406

³⁷ Tröltsch (1879)

³⁸ Szenes (1892)

³⁹ Eicken (1951) S.11

⁴⁰ Majer (1980) S.409

⁴¹ Eicken (1951) S.15-16

Der Zusammenschluß der beiden getrennten Fächer Otologie und Laryngologie vollzog sich bereits kurz nach der Jahrhundertwende bei den niedergelassenen Ärzten.⁴² Dies hatte sicherlich vor allem praktische Gründe, da für beide Fächer eine ähnliche Untersuchungstechnik nötig war. So übernahm z.B. Politzer die Verwendung des Brillenreflektors, einem Vorgänger des heute noch üblichen Stirnreflektors, von seinem laryngologischen Kollegen Semeleder.⁴³ An den Universitäten dauerte es allerdings länger, bis diese technischen, aber auch die klinischen Gemeinsamkeiten zum Zusammenschluß der beiden Fächer führten. 1920 beschloß der Reichsrat an den Universitäten Preußens die Vereinigung zur Oto-Rhino-Laryngologie⁴⁴, aber in Bonn wurde z.B. erst 1940 ein planmäßiges Ordinariat für die vereinigte Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde eingerichtet.⁴⁵

⁴² Kindler (1956) S.2, Klimpel (1987)

⁴³ Lesky (1965) S.407

⁴⁴ Kindler (1956)

⁴⁵ Klimpel (1987) S.32

3. Die frühe Phase der Gleichgewichtsforschung

Goltz war zwar der erste, der Teile des Innenohrs als Gleichgewichtsorgan verstand, aber natürlich gab es schon vorher Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet. In diesem Kapitel sollen diese Wegbereiter für Goltz, Mach, Breuer und die anderen Forscher des Vestibularapparates dargestellt werden.

Zwei Stränge können in der Geschichte der Gleichgewichtsforschung verfolgt werden: Zum einen die Forschung über die Funktion der Bogengänge, zum anderen die Forschung über das führende Symptom bei Erkrankungen des Bogengangsystems, über den Schwindel. Die herausragenden Untersuchungen zum Bogengangsystem machte Flourens, zum Schwindel Purkyně. Die Integration beider Stränge gelang Ménière bei der Beschreibung der nach ihm benannten Erkrankung.

3.1 Untersuchungen an den Bogengängen

Wie bereits oben gesagt wurde, war bis ins 18. Jahrhundert das physiologische Experiment unbekannt oder zumindest wenig geübt. Entsprechend wurden natürlich auch keine Experimente an den Bogengängen durchgeführt, und ihre physiologische Bedeutung wurde allein aufgrund von mehr oder weniger scharfsinnigen Spekulationen zu ergründen versucht.

3.1.1 Marie Jean Pierre Flourens

Erste Experimente an den Bogengängen wurden von Marie Jean Pierre Flourens (13.4.1794-5.12.1867), einem Pionier der experimentellen Gehirnforschung, durchgeführt.

1824 und 1828 stellte er in der Pariser Akademie der Wissenschaften seine berühmt gewordenen Untersuchungen vor, die 1825⁴⁶ und 1830⁴⁷ veröffentlicht wurden.



Abb. 2 Marie Jean Pierre Flourens

Flourens experimentierte vor allem an Tauben und Kaninchen, aber auch an Sperlingen und Kohlmeisen (*mésanges verdiers*). Er durchtrennte die Bogengänge der Tiere einzeln oder auch kombiniert und sah charakteristische Bewegungsstörungen. Zerstörung eines horizontal liegenden Bogenganges hatte horizontale Kopfbewegungen zur Folge, eines vertikal liegenden entsprechend vertikale. Diese Kopfbewegungen wurden von unterschiedlich starken Gleichgewichtsstörungen begleitet, die es den Tieren teilweise unmöglich machten, sich zu bewegen, zu fressen oder sich aufrecht zu halten. Bei all diesen Versuchen sah

Flourens starke Augenbewegungen, die er aber nicht weiter kategorisieren konnte.

Da Flourens schon vorher am Kleinhirn operiert und dadurch ebenfalls Bewegungsstörungen hervorgerufen hatte, achtete er sorgfältig darauf auszuschließen, daß er zusätzlich zur Zerstörung der Bogengänge auch noch das Kleinhirn, andere Teile des

⁴⁶ Flourens (1825)

⁴⁷ Flourens, Jean Marie Pierre. *Expériences sur les canaux semi-circulaires de l'oreille, dans les oiseaux*. *Mémoires de l'Acad. royale des sciences de l'institut de France*. (1830) 9:455-466. Wiederabdruck in Flourens (1842) Kap. 28.
Flourens, Jean Marie Pierre. *Expériences sur les canaux semi-circulaires de l'oreille, dans les mammifères*. *Mémoires de l'Acad. royale des sciences de l'institut de France*. (1830) 9:467-477. Wiederabdruck in Flourens (1842) Kap. 29

Gehirns oder auch nur die Blutversorgung des Gehirns beschädigte. Er führte auch noch subtilere Versuche aus, indem er den knöchernen Bogengang eröffnete und den membranösen Gang nur durch eine Punktion verletzte. Auch bei diesen vorsichtigen Versuchen sah er die oben beschriebenen Symptome, die allerdings umso geringer ausgeprägt waren, je geringer die Verletzungen waren.

Im Jahre 1842 veröffentlichte Flourens die zweite Auflage seines Buches "Recherches expérimentales sur les propriétés et les fonctions du système nerveux dans les animaux vertébrés", in die er die Veröffentlichungen über die Bogengänge mit aufnahm. In zwei neuen Kapiteln zog er aus diesen Versuchen folgende Schlußfolgerungen:

"Le premier de ces nerfs, le nerf du limaçon, est le vrai nerf auditif; le limaçon est le vrai siège du sens de l'ouïe.

L'autre nerf, le nerf des canaux semi-circulaires, n'est pas un nerf des sens: la section des canaux semi-circulaires ne détruit pas l'ouïe; [...]

Le nerf des canaux semi-circulaires est un nerf spécial et propre."⁴⁸

In diesen Schlußfolgerungen sprach Flourens der Pars vestibularis des Nervus vestibulocochlearis die Funktion eines Sinnesnervs im Sinne eines Hörnervs ab und verlegte die Funktion des Hörens allein in die Schnecke. Über die "spezielle und eigentümliche" Funktion des Bogengangsnervs sprach er sich in einem weiteren Kapitel aus. Nach seiner Meinung ruft die Durchschneidung der Bogengänge die Bewegungsstörungen nicht hervor, sondern läßt sie zu: "La section laisse éclater le mouvement"⁴⁹. Er entwickelte folgende Theorie:

"Le système nerveux n'est donc pas seulement le principe exciteur des mouvements; il en est le principe exciteur des mouvements; il en est le principe régulateur; il en est le principe modérateur.[...]

L'effet exciteur est produit par toutes les parties du système nerveux, qui [...] provoquent immédiatement des contractions musculaires [...].

L'effet régulateur émane du cervelet.

L'effet modérateur réside enfin [...] dans les canaux semi-circulaires."⁵⁰

Flourens sah hinsichtlich der Bewegung eine dreifache Funktion des Nervensystems, erstens eine exzitatorische zur Auslösung der Muskelkontraktionen, zweitens eine regulatorische, die vom Kleinhirn wahrgenommen wird, und drittens eine hemmende, die von den Bogengangsnerven ausgelöst wird.

⁴⁸ Flourens (1842) S.492-493

⁴⁹ Flourens (1842) S.496

⁵⁰ Flourens (1842) S.499

Flourens hatte zwar die Aufgaben zur Bewegungsregulation plausibel verteilt und durch seine Versuche gezeigt, daß die Bogengänge zu diesem System gehören, hat aber nichts darüber gesagt, warum sie dazugehören. Er realisierte nicht, daß hemmende oder verstärkende Einflüsse nur ausgelöst werden durch Organe oder Vorgänge, die einen realen Bezug zu dem regulierten Effekt haben. Sonst wäre ihm klar geworden, daß die Bogengänge eine oder auch mehrere Größen messen müssen, die für die Bewegungsregulation wichtig sind. Ohne eine Erklärung, was die Bogengänge messen, boten die Flourensschen Versuche keinen Ansatz, sie in die wissenschaftlichen Vorstellungen einzupassen. Die Versuche erschienen kurios oder mysteriös⁵¹ und gerieten schließlich in Vergessenheit.

3.1.2 Die Nachfolger Flourens'

Die Bedeutung der Flourensschen Arbeit wurde von den Zeitgenossen trotz zunächst positiven Kommentars⁵² anscheinend nicht richtig eingeschätzt. Einige wenige Wiederholungen seiner Versuche wurden veröffentlicht, und auch Widersprüche wurden laut. Brown-Séquard schrieb unter Bezug auf Flourens, daß die beobachteten Bewegungsstörungen nicht auf Verletzung der Bogengänge, sondern auf Irritationen des Akustikus zurückzuführen seien.⁵³

Schließlich gerieten die Versuche doch wohl bei den meisten Physiologen in Vergessenheit. Jan (Johann) Nepomuk Czermak (17.6.1828-17.9.1873), der mit von Türck den Kehlkopfspiegel in die Diagnostik einführte, fand anlässlich eines Pariser Aufenthalts zufällig Flourens' Buch aus dem Jahre 1842. Dies veranlaßte ihn, diese Experimente nachzuprüfen und hierüber erneut zu berichten. Er schrieb im Jahre 1860:

"Obgleich Flourens' Erfahrung seit 30 Jahren her datirt und die fraglichen Symptome zu den auffallendsten und eigenthümlichsten Fällen der experimentellen Physiologie gehören, fielen sie doch der Vergessenheit

⁵¹ Goltz bezieht sich z.B. mit den Worten "überaus merkwürdige Versuche" auf Flourens. Goltz (1870) S.175.

⁵² Stein (1895) S.174

⁵³ "I have ascertained that the phenomena observed in these experiments do not depend on the section of these canals, as this operation may not cause these phenomena, but that they are the results of an irritation of the auditory nerve, from the drawing upon it by the membranous semicircular canals at the time we divide them." Brown-Séquard (1860)

anheim und ich erinnere mich keiner Physiologie⁵⁴, in welcher ich eine diesbezügliche Notiz gelesen hätte."⁵⁵

In dieser Veröffentlichung bestätigte er die Ergebnisse Flourens' vollständig. Sechs Jahre später kam Czermak noch einmal auf dieses Thema zu sprechen, indem er als eine neue Folgeerscheinung der Durchschneidung der Bogengänge das Erbrechen aufführte. Dies mußte seiner Meinung nach "als eine ebenso directe Folge der Verletzung der Semicircularcanäle betrachtet werden, wie die Störungen in der locomotorischen Spähre selbst, und ist durchaus nicht etwa als ein blosses Nebensymptom oder eine Folgeerscheinung des Schwindels anzusehen"⁵⁶.

Obwohl also Czermak sehr wohl erkannte, daß die Tauben unter Schwindel litten, wollte er trotzdem das Erbrechen als eigenständiges Symptom ansehen. Noch 1894 schrieb von Stein⁵⁷, daß man sich immer noch unschlüssig sei, ob man das Erbrechen zu den primären oder sekundären Störungen zählen solle. Im Jahr 1872, also zwei Jahre nach Aufstellung der Goltzschen Hypothese, hielt Czermak einen wenn auch populärwissenschaftlichen Vortrag "Ueber das Ohr und das Hören".⁵⁸ Leider ging er mit keinem Wort auf die neu entdeckten Funktionen des Labyrinths ein.

3.2 Forschungen über den Schwindel

Von alters her schon hat man darüber spekuliert, welches die Ursachen für den Schwindel sind. Marcus Herz schrieb 1791 in seinem Buch "Versuch über den Schwindel":

"Wir können also, um eine genaue Erklärung vom Schwindel zu geben, sagen; er ist derjenige Zustand der Verwirrung, in welchem die Seele sich wegen der zu schnellen Folge ihrer Vorstellungen befindet."⁵⁹

⁵⁴ Dies stimmt nicht, s. Harless in Wagners Handwörterbuch der Physiologie.

⁵⁵ Czermak, Jan Nepomuk. Flourens' Experimente an Vögeln über die halbzirkelförmigen Kanäle. Orvosi Hetilap (1860) und Comptes rendus (1860), hier zitiert nach Czermak (1879) S. 625

⁵⁶ Czermak, Jan Nepomuk. Notiz über eine neue Folgeerscheinung nach Durchschneidung der Semicircularcanäle bei Vögeln (Tauben). Jenaische Zeitschrift für Medicin (1866) 3:101-102, hier zitiert nach Czermak (1879) S. 777

⁵⁷ Stein (1894) S.330

⁵⁸ Czermak, Johann Nepomuk. Ueber das Ohr und das Hören. Sammlung gemeinverständlicher wissenschaftlicher Vorträge (1873) 8. Serie Heft 169

⁵⁹ Herz (1791) S.176

Das Wort "Versuch" im Titel dieses Werkes darf nicht als physiologisches Experiment im heutigen Sinne verstanden werden. Ebenso wird man aus heutiger Sicht die Überlegungen von Herz nicht für eine "genaue Erklärung" halten. Mach kritisierte dieses Werk mit deutlichen Worten:

[Es] "enthält nicht einen einzigen Versuch und ist überhaupt ganz naturphilosophisch gehalten. Die Erklärungen des Verfassers sind rein psychologisch und die Theorie der unbewußten Schlüsse, welche bei ihm (namentlich S. 255-261) schon in der Blüthe steht, kann geradezu als abschreckendes Beispiel dienen."⁶⁰

3.2.1 Erasmus Darwin

Ganz anders setzte sich dagegen Erasmus Darwin (1731-1802), Großvater von Charles Robert Darwin und Wegbereiter der Evolutionstheorie, mit den Effekten von Drehungen auf den menschlichen Körper auseinander und mit den Bedingungen, unter denen Schwindel hervorgerufen wird. Dies beschrieb er in seinem bedeutendsten Werk "Zoonomia, or the laws of organic life" (1794-1796), welches noch im gleichen Jahr auch ins Deutsche übersetzt wurde.

Darwin wußte um die Bedeutung des Sehens zur Festlegung eines stabilen, äußeren Bezugssystems und um die diesem untergeordnete Bedeutung des Muskelsinnes. Der Verlust des gewohnten Bezugssystems bewirkt zum Beispiel beim Stehen auf einem hohen Turm den Höhengschwindel:

"In learning to walk we judge of the distances of the objects which we approach, by the eyes; and by observing their perpendicularity determine our own."⁶¹ "For the same reason many people become dizzy, when they look from the summit of a tower, which is raised much above all other objects, as these objects are out of sphere of distinct vision, and they are obliged to balance their bodies by the less accurate feelings of their muscles."⁶²

Ebenso wird die Seekrankheit durch ungewohnte Bewegungen hervorgerufen:

"And when first we go on shipboard, where the movements of ourselves, and the movements of the large waves are both new to us, the vertigo is almost unavoidable, with the terrible sickness, which attends it. And this I

⁶⁰ Mach (1873) S.138

⁶¹ Darwin, Erasmus Zoonomia S.231, zitiert nach Cohen (1984) S.126-127

⁶² Darwin, Erasmus Zoonomia S.232, zitiert nach Cohen (1984) S.127

have been assured has happened to several from being removed from the large ship into a small one; and again from a small one into a man of war."⁶³

Gegen Ende des 18. Jahrhunderts versuchte man, die Schwindelerscheinungen therapeutisch nutzbar zu machen. Man verwendete Drehgestelle, auf denen Patienten in Rotation versetzt wurden, zur Behandlung der verschiedensten Krankheiten, so zur Behandlung der Tuberkulose oder des Fiebers.⁶⁴ Vor allem aber wurden solche Rotationsapparaturen bei manischen psychiatrischen Patienten angewandt, bei denen man sich durch die vegetativen Reaktionen positive therapeutische Effekte versprach. Grüsser weist darauf hin, daß solche Therapien schon als progressiv angesehen werden müssen, verglichen mit der sonst üblichen Isolation und Immobilisierung psychiatrischer Patienten⁶⁵.

Darwin selbst beschäftigte sich mit der Konstruktion solcher Apparate und druckte in der 3. Auflage seiner "Zoonomia" (1801) eine Konstruktionszeichnung einer "movable rotative couch which may be put out of the way when not in use"⁶⁶ ab, die übrigens von James Watt stammte. Zum einen machte er sich Gedanken zur therapeutischen Anwendung und schlug vor, Drehstühle zur Fieberbehandlung einzusetzen, zum anderen nutzte er die Rotationsapparate für Experimente über Schwindelerscheinungen.

Hierbei beobachtete er den per- und postrotatorischen Nystagmus, auch wenn er die schnelle und langsame Phase des Nystagmus nicht differenzierte. Insgesamt sind in seinem Werk viele wertvolle Anregungen gegeben, die spätere Forscher wie Purkyně der sich mehrmals explizit auf Darwin bezieht, genutzt haben. Da auch heute noch viele der Phänomene, die Darwin interessierte, nicht vollständig verstanden sind und er auch zu moderneren Konzepten der Nachbilder oder des "efference copy" bereits Anregungen gegeben hat, kommt Cohen zu dem treffenden Schluß:

"Darwin's work will continue to be a unique scientific legacy."⁶⁷

⁶³ Darwin, Erasmus Zoonomia S.234, zitiert nach Cohen (1984) S.127

⁶⁴ Cohen (1984) S.121

⁶⁵ Grüsser (1984) S.136

⁶⁶ Darwin, Erasmus Zoonomia 3.Aufl. (1801) S.436, zitiert nach Cohen (1984) S.123

⁶⁷ Cohen (1984) S.128

3.2.2 Jan Evangelista Purkyně

Jan Evangelista Purkyně (18.12.1787⁶⁸-27.7.1869) muß als einer der führenden Physiologen der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts angesehen werden, der gerade auf dem Gebiet der Sinnesphysiologie grundlegende Untersuchungen angestellt hat. 52 % seiner Veröffentlichungen beschäftigen sich mit Sinnesphysiologie oder mit dem Zentralnervensystem⁶⁹. Dieses besondere Interesse entsprang seiner durch Schelling und Novalis beeinflussten romantischen Naturphilosophie des deutschen Idealismus⁷⁰ und tritt besonders hervor in dem Artikel "Sinne im Allgemeinen"⁷¹ für das "Handwörterbuch für Physiologie". Um Purkyněs Gedankengang besser verfolgen zu können und seine Sprache zu erleben, soll hier der Artikel in einigen wesentlichen Zitaten vorgestellt werden:



Abb. 3 Jan Evangelista Purkyně

"Bei Betrachtung des Universums von unserem irdischen menschlichen Standpunkt aus, mit den dabei vorzunehmenden nothwendigen Abstractionen, ergeben sich zwei Hauptmodi des Daseins, das materielle und das geistige, das bewußtlose und das bewußte. [...] Das vermittelnde dieser Gegensätze ist das organische Leben.[...] Der Physiolog [...] ist daher [...] nothwendig gedrungen, auf dem so natürlichen Standpunkt des Dualismus sich festzusetzen [...], einerseits in die Gesetze materieller

⁶⁸ Zum Geburtsdatum Purkyněs s.a. Matousek, Otakar. J.E. Purkyněs Leben und Tätigkeit im Lichte der Berliner und Prager Archive. In Zaunick (1961)

⁶⁹ Grüsser (1984) S.132

⁷⁰ S.a. Toellner, Richard. Naturphilosophische Elemente im Denken Purkyně. Kruta (1971) S.35-41

⁷¹ Purkyně (1846)

Existenz sich zu vertiefen, andererseits [...] die Natur des Geistigen zu ergründen. In dieses Gebiet der gemischten Erfahrung gehört in der Physiologie alles dasjenige, was wir unter dem Namen des Sinnes begreifen. [...] Wir haben bis jetzt den Sinn nur vom subjektiven Standpunkt der psychischen Erfahrung betrachtet. Es wird erlaubt sein, das subjektive Element, sofern es von materiellem Substrat getragen wird, in die räumliche und zeitliche Objektivität der äußeren Natur nach der Weise physikalischer Anschauung zu übertragen. [...] Indem nun das Reich der sensitiven Organismen aus unzähligen auf der Oberfläche der Erde verschieden verteilten organischen Individuen besteht, so erweitert sich das Bild über alle Grenzen der Individualität [...]. Wie die Erdkunde ein Netz thermaler, magnetischer und anderer Linien über den Erdglobus zieht, um uns über die Totalität physikalischer Kräfte Aufschluß zu geben, so lassen sich eben solche sensuelle und intellectuelle construieren, und es bedarf dann nur eines geringen Sprunges der Phantasie, um diese in ein höheres psychisches Princip, eine Erdseele oder Erdgeist zusammenzufassen."⁷²

Entsprechend dem naturphilosophischen Konzept des Dualismus von Materie und Geist hat der Physiologe zwei Aufgaben.

Auf der einen Seite muß er die Materie erforschen, und in dieser Erforschung war Purkyně ein ganz rationaler Naturwissenschaftler, ja, ein "Mitbegründer einer naturwissenschaftlich exakten Richtung der Physiologie des 19. Jahrhunderts".⁷³ So urteilt Nemec: "Obwohl also Purkyně Romantiker gewesen ist, ist er es nur für sich selbst gewesen. In seinen wissenschaftlichen Abhandlungen und kürzeren Äußerungen findet man keine Spur von Romantismus."⁷⁴

Auf der anderen Seite gilt als großes Ziel, "die Natur des Geistigen zu erforschen". Diesem Ziel kann der Physiologe am ehesten durch die Beschäftigung mit der Sinnesphysiologie nahekomen, die "in dem Gebiet der gemischten Erfahrung" liegt. Nach der exakten Erforschung der materiellen Bedingungen erfolgt die naturphilosophisch geprägte Interpretation.

Purkyněs grundlegende Schrift über den Schwindel, "Beyträge zur näheren Kenntniss des Schwindels aus heautognostischen Daten", erschien im Jahre 1820. Purkyně unterschied zunächst den Raumschwindel und den Zeitschwindel. Grüsser schreibt: "Precisely what he meant by the latter term remains somewhat unclear"⁷⁵. Der Absatz über den Zeitschwindel ist aber schon vom Umfang her eher unbedeutend. Purkyně hat auch keinerlei Experimente zu diesem Punkt durchgeführt und bezog sich bei dieser Art des Schwindels explizit auf

⁷² Purkyně (1846)

⁷³ Rothsuh (1973) S.171, hier in der deutschen Übersetzung zitiert.

⁷⁴ Bohumil Nemec. Leben und Wirken von J. E. Purkyně in Erinnerungen seiner Zeitgenossen. Zaunick (1961) S.10

⁷⁵ Grüsser (1984) S. 136

das weiter oben besprochene Buch von Marcus Herz. Er selbst schien aber auch ein gewisses Defizit in der Behandlung des "Zeitschwinds" zu spüren, da er zum Schluß des Absatzes schrieb:

"Übrigens muß ich es noch von späteren Beobachtungen und Betrachtungen erwarten, wie in diesen Gegenstand noch grössere Klarheit und Ordnung zu bringen wäre."⁷⁶

In einer späteren Veröffentlichung zum Schwindel ist der "Zeitschwindel" nicht mehr enthalten, statt dessen schrieb er: "Was Marcus Herz darüber hin und her geredet, scheint eher etwas anders als der Schwindel selbst zu seyn"⁷⁷.

In deutlichem Kontrast zu seinen Bemerkungen über den Zeitschwindel stehen seine exakten Untersuchungen über den Raumschwindel. Hier unterschied er fünf noch heute gültige Kategorien⁷⁸: Bewegungsschwindel, Schwindel durch Galvanismus, Schwindel durch Unterdrückung des Blutumlaufs, Hörschwindel, Schwindel durch Narkotika.

Vor allem der Bewegungsschwindel wurde durch ausführliche Experimente untersucht. Purkyně verwendete zu diesem Zweck wie schon Darwin "Drehstühle, wie sie zur Bändigung der Irren angewendet werden"⁷⁹. Als weiteres experimentelles Labor nutzte Purkyně den Prager Vergnügungspark. Hier führte er oft stundenlange Selbstversuche in Schaukeln oder im Ringelspiel (Karussell) durch, wobei er genauestens Übelkeit, Nausea, Kopfschmerz etc. registrierte. Purkyně selbst deutete vorsichtig an, daß diese Versuche für ihn "mit vielen Unbequemlichkeiten verbunden"⁸⁰ waren. Kruta beschreibt diese "Unbequemlichkeiten" deutlicher und damit wohl treffender: "Bei Versuchen dieser Art auszuhalten [...], dabei alles genau zu notieren in einem Milieu, wo sich andere Leute sorglos unterhalten und gar zu leicht das verhöhnen, was sie nicht verstehen können, das fordert schon eine große Begeisterung für die Sache und großes Aufopfern."⁸¹

Purkyně unterschied beim Bewegungsschwindel den Drehschwindel vom Schwindel oder, besser gesagt, von dem Empfinden einer Scheinbewegung durch geradlinige Bewegung. Allgemein fand er die Richtung der Schwindelbewegung vorgegeben durch die Stellung des Kopfes zum Zeitpunkt der Bewegung relativ zur Richtung der Bewegung. Dies ließ ihn den Auslöser des Bewegungsschwinds in den Kopf lokalisieren. Er beschrieb die

⁷⁶ Purkyně (1820) S. 120, Op.omn. II S. 35

⁷⁷ Purkyně (1827) S. 286, Op.omn. III S. 2

⁷⁸ Grüsser (1984) S. 129

⁷⁹ Purkyně (1827) S.292, Op.Omn. III S.5

⁸⁰ Purkyně (1820) S.116, Op.Omn. II S.33

⁸¹ Kruta, V. J.E.Purkyně als Physiologe, in: Zaunick (1961) S.62

entstehenden unwillkürlichen Muskelbewegungen und registrierte durch Beobachtung und durch Befühlen der Augäpfel den Augennystagmus, wobei er rotatorischen, vertikalen und horizontalen Nystagmus unterschied.

Diese sehr exakt protokollierten Beobachtungen führten ihn zu dem Schluß, daß:

"das Gehirn bey anhaltenden heftigeren Bewegungen [...] eine Abänderung in seiner Cohäsion erleidet, dass seine Theile [...] doch in eine Bewegungstendenz [...] versetzt werden, welche [...] Ursache des Schwindels ist. Daher die Richtung der Schwindelbewegung von der Richtung abhängt, in welcher die Schwungkraft auf das Gehirn eingewirkt hat."⁸²

Die Muskelbewegungen dienen der Kompensation der Schwindelempfindung. Die weiteren vegetativen Symptome werden nach Purkyně folgendermaßen ausgelöst:

"So ist es mir wahrscheinlich, dass das Gefühl von Beängstigung beym Bewegungsschwindel durch eine Zerrung der Herz-Nervengeflechte verursacht werde, indem das Herz als ein ziemlich gewichtiger Körper nach der Seite der Bewegung hingezogen wird. Das Gefühl des Ekels trifft den Vagus, der durch den geschwungenen Magen, Milz und Gedärm gezerzt wird. Der Schwung der gewichtigen Leber und der Gedärme muss nothwendig einen eigenthümlichen Gastricismus hervorbringen."⁸³

Die Arbeit von Purkyně aus dem Jahre 1820 hat wenig Beachtung gefunden⁸⁴. Im Jahre 1822 stellte Flourens seine Arbeit⁸⁵ vor, in der er Bewegungsstörungen bei Tieren nach der Verwundung des Kleinhirns beschrieb. Im Jahre 1825 erschien die Arbeit Magendies, die die Existenz spezifischer Bewegungsstörungen nach Verletzung bestimmter Kleinhirnteile nachwies.⁸⁶ Purkyně besprach die Arbeit Flourens', nachdem er mit einem Schüler die Versuche wiederholt hatte⁸⁷. Er erkannte, daß es sich bei den Bewegungsstörungen, die Flourens bei seinen Versuchstieren konstatierte, um Schwindelercheinungen handelte. Purkyně sah seine Theorie von der "Cohäsions-Veränderung" des Gehirns als Ursache des

⁸² Purkyně (1820) S.123, Op.omn. II S.36

⁸³ Purkyně (1820) S.122, Op.omn. II S.36

⁸⁴ Dies zeigt sich in einer Einleitung zu einer späteren Veröffentlichung: "Herr Prof. Purkyně trug ferner seine schon vor 8 Jahren in Wien bekannt gemachten, sehr interessanten, aber von den Physikern und Physiologen (wie das häufig in Deutschland der Fall ist) nicht beachteten Versuche und Beobachtungen über die verschiedenen Arten des Schwindels [...] vor." Purkyně (1825) S. 32 Op.omn. II S.54

⁸⁵ Die Arbeit wurde mit anderen zusammengefaßt in Flourens (1824).

⁸⁶ Magendie, François. Mémoires sur les fonctions de quelques parties du système nerveux. Journ.d.Physiol. (1825) T.IV, zitiert nach Politzer(1907/13 I) S.403

⁸⁷ "Diese und dergleichen Versuche habe ich in Gesellschaft eines jungen, sinnreichen Freundes mit gehöriger Umsicht und Ausbreitung in den Sommern 1823 und 1824 wiederholt und in dessen Inauguraldissertation niedergelegt, wohl auch mit der Hoffnung, dass wenigstens das Resultat durch einige der zahlreichen deutschen Zeitschriften zur hinreichenden Kenntniss des Publicums gelangen werde. Unsere Stimme scheint noch nicht durchgedrungen zu seyn." Purkyně (1826b) S.18. Gemeint ist die Dissertation von Krauss (1824)

Schwindels bestätigt. Dies veranlaßte ihn, wiederholt auf seine Veröffentlichung aus dem Jahre 1820 hinzuweisen⁸⁸ mit der Absicht, weitere Untersuchungen zu diesem Thema anzuregen. Dreißig Jahre später bemerkte er: "Das geschah leider nicht, die Öffentlichkeit übergang die Arbeit schweigend und Flourens selbst weiß vielleicht gar nichts von diesen Untersuchungen."⁸⁹

Leider ist keine Stelle bekannt, an der sich Purkyně zu den Flourensschen Versuchen an den Bogengängen geäußert hat, was schon Bárány bedauerte. Bárány glaubte⁹⁰, daß es Purkyně ein leichtes gewesen wäre, bei weiteren Drehversuchen Flourens' Beobachtungen zu erklären. Natürlich sind dies müßige Spekulationen. Es darf überhaupt bezweifelt werden, daß Purkyně, der ja von der Bedeutung des Gehirns für das Auslösen der Schwindelerscheinungen überzeugt war und die Versuche Flourens' am Kleinhirn als Stütze seiner Hypothesen verstand, seine Auffassung durch Versuche an den Bogengängen revidiert hätte. Wahrscheinlicher ist schon, daß er sich aus genau diesem Grunde nicht zu diesen Versuchen äußerte, da sie mit seinen Vorstellungen von den Schwindelerscheinungen nicht zusammenpaßten.

3.3 Prosper Ménière

Ein wichtiger Beitrag zur Physiologie des Labyrinths kam von einem Kliniker, dem Pariser Taubstummenarzt Prosper Ménière⁹¹ (18.6.1799-7.2.1862). Dieser schlug als erster die Brücke zwischen den Symptomen des Schwindels und den Bogengängen. Über lange Jahre hatte er zahlreiche Kranke beobachtet, die unter der Symptomen-Trias Schwindel, Schwerhörigkeit und Tinnitus litten. Typischerweise traten diese Symptome anfallsweise

⁸⁸ Purkyně (1825), (1826a), (1826b), (1827)

⁸⁹ Purkyně. Ziva (1857) 5:211 Op.sel. S.144. Zitiert nach Zaunick (1961) S.62

⁹⁰ "...und doch wäre niemand berufener gewesen als Purkyně, das Rätsel, das über der Arbeit Flourens' lag, zu lösen. [...] hätte er nur einmal eine Taube oder ein Kaninchen gedreht, so hätte er des Rätsels Erklärung gefunden." Bárány (1913) S.398

⁹¹ Zwei unterschiedliche Schreibweisen des Namens Ménière sind in der Literatur gebräuchlich: Laut Schwartze schreibt sich Ménière selbst *Ménière* (Archiv für Ohrenheilkunde (1898) 45:150). In seinen Originalarbeiten aus dem Jahre 1861 soll sich Ménière *Ménière* geschrieben haben (Blumenbach (1955) S.48). Die Inschrift in der Familiengruft auf dem Friedhof Montparnasse (Paris) soll *Ménière* lauten (Walter Becker, Naumann, Pflatz. Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde. Georg Thieme Stuttgart 4.Aufl (1989)). Psychrembel, Willibald. Klinisches Wörterbuch. Walter de Gruyter Berlin 254. Aufl. (1982) schreibt *Ménière*. Meyers Enzyklopädisches Lexikon. Bibliograph.Inst. Mannheim 9. Aufl. (1976) 16:58 schreibt *Ménière*. In der vorliegenden Arbeit wird einheitlich die Schreibweise *Ménière* verwendet.

auf, wurden von starker vegetativer Symptomatik (Erbrechen, Übelkeit, Blässe) begleitet und mündeten nicht selten in vollständige Taubheit. Diese Erkrankung, die schon den alten Ägyptern bekannt war, hielt man für eine Erkrankung des Gehirns und bezeichnete sie gemeinsam mit anderen als "apoplektiforme Hirnkongestion", die durch eine zerebrale Blutüberfüllung hervorgerufen werden sollte.

Am 8. Januar 1861 hielt Ménière vor der Pariser Akademie der Wissenschaften seinen grundlegenden Vortrag über die später nach ihm benannte Symptomen-Trias⁹². Mehrere Jahre lang hatte er die verschiedensten Kranken mit diesen Symptomen beobachtet, untersucht und befragt. Da die Kranken bei völlig klarem Verstand waren, keine Lähmungen oder andere Symptome einer Hirnerkrankung aufwiesen, schien ihm das Gehirn als Sitz der Erkrankung

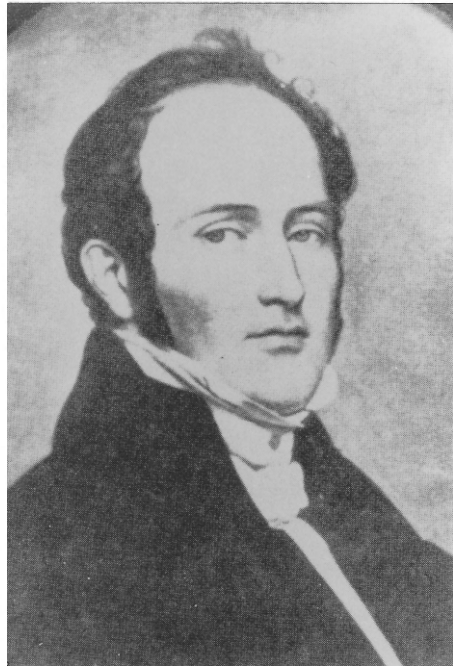


Abb. 4 Prosper Ménière

nicht in Frage zu kommen. Häufig fortschreitende Taubheit bei gleichzeitiger Intaktheit des äußeren und mittleren Ohres deuteten klar auf eine Innenohrerkrankung hin. Ménière erkannte wie Purkyně, daß die Tauben, mit denen Flourens experimentiert hatte, unter Schwindel litten und vermutete somit eine Läsion der Bogengänge als Ursache der Erkrankung. Als Stütze für seine These diente ihm schließlich der Sektionsbefund eines jungen Mädchens, das plötzlich an Taubheit in Kombination mit heftigem Schwindel erkrankte und nach fünf Tagen verstarb.

⁹² Ménière, Prosper. Mémoires sur des lésions de l'oreille interne donnant lieu à des symptômes de congestion cérébrale apoplectiforme. Gazette médicale de Paris (1861) 16:597-601

Ménière schreibt:

"Bei der Autopsie erwiesen sich Hirn, Kleinhirn und Rückenmark als völlig frei von Veränderungen [...]. Ich fand als einzige Veränderung die Bogengänge erfüllt von einer roten, plastischen Masse, einer Art blutigen Exsudats, von dem man im Vestibulum kaum noch Spuren bemerkte, während es in der Schnecke fehlte."⁹³

Dieser Sektionsbefund wird immer wieder als die Initialzündung dafür angesehen, daß Ménière seine Theorie entwickelte. Es gibt jedoch Hinweise, daß Ménière diesen Sektionsbefund und auch die Krankengeschichte ein wenig an seine Theorie angepaßt hat⁹⁴, um es freundlich zu formulieren. Dieses Problem soll hier jedoch nicht diskutiert werden. Angesichts der Tatsache, daß Ménière über Jahre hinweg seine Beobachtungen zusammentrug, die er dann im Verlauf des Jahres 1861 in insgesamt fünf Aufsätzen veröffentlichte⁹⁵, darf man folgern, daß dieser Sektionsbefund für ihn nur einen Mosaikstein in dem gesamten Komplex darstellte. Ménière war sich sicher, daß die Ursache der Erkrankung im Innenohr lag; er vermutete, daß die Bogengänge die erkrankte anatomische Struktur darstellten. Sehr deutlich faßte er seine Ansichten zusammen:

"1. In einem bis dahin völlig gesunden Gehörorgan können plötzlich Funktionsstörungen auftreten, die in fortwährenden oder intermittierenden Geräuschen veränderlicher Art bestehen, und mit diesen Geräuschen verbindet sich bald eine mehr oder minder starke Abnahme des Gehörs.

2. Diese Funktionsstörungen, deren Sitz das innere Gehörorgan ist, können Erscheinungen hervorrufen, die als zerebral gelten, wie Schwindelzustände, unsicheren Gang, Drehbewegungen und Umfallen; sie sind zudem von Übelkeit, Erbrechen und einem synkopalen Zustand begleitet.

3. Auf diejenigen Erscheinungen, denen die intermittierende Form eigen ist, folgt bald immer stärkere Schwerhörigkeit, und oft geht das Gehör plötzlich und vollständig verloren.

4. Alles spricht für die Annahme, daß die materielle Schädigung, die der Grund für diese Funktionsstörung ist, in den Bogengängen sitzt."⁹⁶

⁹³ Blumenbach (1955) S. 15

⁹⁴ Zu dieser Frage s.a. Blumenbach (1955) S. 58-61

⁹⁵ Ménière, Prosper. Gazette médicale de Paris (1861) 16: 55-57, 88-89, 239-240, 379-380

⁹⁶ Blumenbach (1955) S.24-25

Diese Zusammenfassung entspricht auch noch heutigem Wissensstand. Bemerkenswert ist, daß Ménière eine so bedeutende Entdeckung in einem Lebensabschnitt veröffentlichte, in dem andere Forscher eher von den in jüngeren Jahren erreichten Erfolgen zehren. Bárány, der selbst die Härte der Auseinandersetzungen in der wissenschaftlichen Welt erlebt hat, bemerkt hierzu:

"Ménière hat den Ruhm seiner Entdeckung nicht mehr genossen. Er starb noch im selben Jahre⁹⁷. Ein Gutes aber hat sein frühzeitiger Tod gehabt: die rasche, neidlose Anerkennung des von ihm Gefundenen. Widerspruch wurde überhaupt keiner laut, und Bestätigungen kamen rasch von allen Seiten."⁹⁸

⁹⁷ Dies ist nicht ganz korrekt. Die Veröffentlichungen Ménières erschienen im Jahre 1861, er starb im Jahre 1862.

⁹⁸ Bárány (1913) S.398

4. Die Entdeckung des Gleichgewichtsorgans

4.1 Friedrich Goltz

Ein Neubeginn in der Vestibularisforschung wurde ermöglicht durch Friedrich Goltz (14.8.1834-4.5.1902)⁹⁹. Goltz studierte Medizin an der Universität Königsberg. Da er aus finanziellen Gründen keine Möglichkeit hatte, sich in physiologischen Instituten ausbilden zu lassen, war er nach Abschluß seines Studiums gezwungen, zunächst eine Assistentenstelle in der chirurgischen Klinik anzutreten und dann als Prosektor zu arbeiten. Sein Interesse gehörte jedoch ausschließlich der Physiologie, die er nach Feierabend in seinem Wohnzimmer betrieb. Ewald sieht gerade in den beschränkten Möglichkeiten dieser Königsberger Zeit das Charakteristikum der damaligen Goltzschen Arbeiten. Goltz war gezwungen, jeden Versuch exakt zu planen und den größtmöglichen Gewinn aus jedem einzelnen Versuch zu ziehen. Das machte seine Arbeiten so logisch stringent. 1870 endlich wurde Goltz als Physiologe nach Halle gerufen und erhielt 1872 die Möglichkeit, bei der Neugründung der Universität Straßburg das physiologische Institut aufzubauen, das er bis zum Jahre 1900 leitete.

Auf der Naturforscherversammlung in Innsbruck¹⁰⁰ am 21. September 1869 und auf der Sitzung des Vereins für wissenschaftliche Heilkunde zu Königsberg i. Pr.¹⁰¹ am 26. Oktober 1869 demonstrierte Goltz eine schwarze Taube und einen weißen Tauber, die eigentümliche Bewegungsstörungen aufwiesen, nachdem die Bogengänge dieser Tiere zerstört worden waren. Die Tauben vollführten anhaltende Kopfbewegungen, sie konnten nicht fliegen, sie fraßen und tranken nur, wenn man den Kopf mit dem Finger in eine normale Stellung brachte und hielten auch nur dann den Kopf ruhig. Die Tiere zeigten also die bereits von Flourens beschriebenen Störungen. Goltz folgerte bei diesen

⁹⁹ Biographische Angaben zu Goltz in Ewald (1902), Ewald (1903b)

¹⁰⁰ Tageblatt (1869) S. 136. S.a. Rüdinger mit einem Referat über diese Versammlung in der Monatsschrift für Ohrenheilkunde sowie für Nasen-, Rachen- und Kehlkopfkrankheiten (1869) 146-148

¹⁰¹ Goltz (1969)

Präsentationen, daß "im Acusticus ein Organ zu erblicken sei, das der Erhaltung des Gleichgewichts diene."¹⁰² Das Verhalten der Tauben sei durch ein Schwindelgefühl verursacht, auch wenn Goltz bemerkt, "dass er sich das Unbefriedigende dieser Erklärung nicht verhehlen könne."¹⁰³

Das Interesse Goltz' an diesen Versuchen wurde wohl geweckt während der Arbeit an seinem 1869 abgeschlossenen Werk "Beiträge zur Lehre von den Functionen der Nervencentren des Frosches". Hier zeigte Goltz, daß ein Frosch ohne Großhirn die vollkommene Kontrolle über sein Gleichgewicht und seine Bewegungen behält.¹⁰⁴ Diese Kontrolle wird jedoch durch die völlige Zerstörung des Gehörorgans stark beeinträchtigt, und zwar durch einseitige Zerstörung nur vorübergehend und durch beidseitige Zerstörung andauernd.¹⁰⁵ Diese Beob-



Abb. 5 Friedrich Goltz

achtungen riefen Goltz die Versuche Flourens' ins Gedächtnis. Er wollte sich aber nicht einfach in die Reihe derer einreihen, die diese Versuche bestätigten. Er versuchte, "eine Erklärung dieser überaus merkwürdigen Erscheinungen"¹⁰⁶ zu finden.

Im Jahr 1870 erschien dann die entscheidende Veröffentlichung Goltz' im "Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere", in der er seine Experimente

¹⁰² Tageblatt (1869) S. 136

¹⁰³ Tageblatt (1869) S. 136

¹⁰⁴ Goltz, Friedrich. Beiträge zur Lehre von den Funktionen der Nervencentren des Frosches. Berlin (1869) S.71, hier zitiert nach Goltz (1870) S.172

¹⁰⁵ Goltz (1870) S.174-175

¹⁰⁶ Goltz (1870) S.177

beschrieb und seinen Gedankengang darlegte. Goltz wollte die Bewegungsstörungen bei seinen Versuchstieren in besonders eindeutiger Weise hervorrufen und hat deshalb keine besonders subtile Operationsmethode verwandt; ja, sein Schüler Ewald, der selbst äußerst exakte Präparationen am Labyrinth durchgeführt hat, schrieb: "Er [Goltz] ging mit einem kleinen Hohlmeisel in die Ohrhöhle ein und zerstörte - ich möchte sagen auf gut Glück -, was er vom Labyrinth auf diese Weise erreichen konnte."¹⁰⁷ Die Stärke der Goltzschen Arbeit liegt also sicherlich nicht im pingelig ausgeführten Tierversuch. Die Arbeit besticht durch ihren klaren Aufbau und die logische Entwicklung der Argumente, die durch den exakt durchgeführten, scharf beobachteten Tierversuch gestützt werden. Sie hebt sich auch mit ihrem Umfang von 20 Seiten wohltuend von vielen späteren Veröffentlichungen zu diesem Thema ab, in denen seitenlang Versuche dokumentiert werden, deren Schlußfolgerungen jedoch eher dürftig sind. Trotzdem diskutierte Goltz bereits die später vorgebrachten Einwände, die beobachteten Bewegungsstörungen seien auf direkte Schädigung des Gehirns oder auf sekundäre Schädigung des Gehirns durch Ischämie oder Nervendegeneration hervorgerufen.

Nach der Darlegung der Flourensschen Ergebnisse beschrieb Goltz seine eigenen Versuche und trug auch über Flourens hinausgehende Beobachtungen bei. So erkannte er z.B., daß die Tauben immer noch in der Lage waren, sich zu putzen, das heißt, daß ihr Orientierungsvermögen bezüglich ihres eigenen Körpers nicht entscheidend beeinträchtigt war. Er hielt die beobachteten Bewegungsstörungen für Schwindelercheinungen, da leichte Unterstützung des Kopfes oder besondere Willensanstrengung ausreichten, die Kopfbewegungen zu unterdrücken. Dann diskutierte er die von den früheren Autoren gezogenen Schlußfolgerungen und mußte feststellen: "Das Ergebnis unserer Umschau nach Erklärungsversuchen ist wohl ein wahrhaft trostloses zu nennen."¹⁰⁸ Goltz ging nun ganz logisch vor:

"Das Wesentlichste in den Erscheinungen [...] ist Verlust des Gleichgewichts. [...] Ein Thier, dem wir die Bogengänge zerstört haben, befindet sich ohne Frage im vollen Besitz aller der Werkzeuge, durch welche es imstande ist, das Gleichgewicht zu behaupten. Kein Muskel und ebensowenig ein Muskelnerv ist verletzt worden durch jenen Eingriff. [...] So vermögen wir also nicht einzusehen, auf welche Weise die Nervencentren selbst durch die Zerstörung der Bogengänge dauernd geschädigt sein könnten."¹⁰⁹

Goltz zog daraus die einzig richtige Schlußfolgerung:

¹⁰⁷ Ewald (1903b) S.40

¹⁰⁸ Goltz (1870) S.183-184

¹⁰⁹ Goltz (1870) S.184-185

"Ob die Bogengänge Gehörorgan sind, bleibt dahingestellt. Ausserdem aber bilden sie eine Vorrichtung, welche der Erhaltung des Gleichgewichts dient. Sie sind sozusagen Sinnesorgane für das Gleichgewicht des Kopfes und mittelbar des ganzen Körpers."¹¹⁰

Dieser Satz markiert den entscheidenden Wendepunkt in der Vestibularisforschung. Goltz war der erste, der die zunächst selbstverständlich erscheinende These, daß die Organe des Innenohrs dem Hören und nur dem Hören dienen, als ungeprüfte Hypothese erkannte und sich aufgrund seiner Experimente gezwungen sah, Teilen des Innenohrs die Funktionen eines Gleichgewichtsorgans zuzuschreiben. Seine Vorstellungen von dem Funktionieren des Gleichgewichtsorgans waren hingegen falsch. Goltz stellte sich vor, daß der unterschiedliche hydrostatische Druck in den Bogengängen zu Nervenregungen in den Ampullen führt, die im Gehirn verarbeitet und als Informationen über die Kopfbewegungen genutzt werden.¹¹¹ Diese Hypothesen haben die späteren Forscher widerlegt.

Die Arbeit von Goltz fand vielfache Beachtung und auch Anerkennung. So schrieb von Tröltzsch, der bedeutende Otologe aus Würzburg, in seinem Referat zu der Arbeit in dem Archiv für Ohrenheilkunde: "Goltz stellt eine neue Hypothese auf als Ergebnis eines scharf und fein durchgeführten Denkprozesses."¹¹²

Es wurde jedoch auch bald Kritik geäußert, die ebenfalls in den nächsten dreißig Jahren noch die Diskussion bestimmen sollte. Böttcher, der vor allem anatomische Studien des Gehörorgans anfertigte, beschrieb in einem kurzen Absatz auch physiologische Experimente an Fröschen. Er behauptete, daß es bei vorsichtiger Präparation nicht zu den von Flourens und Goltz beobachteten Bewegungsstörungen komme und somit kein Grund dafür vorläge, den Bogengängen eine andere als die Gehörsfunktion zuzuschreiben.¹¹³

In ähnlicher Weise äußerte sich Schklarewsky, der einen den Bogengängen eng benachbarten Kleinhirnausläufer bei Vögeln im sogenannten Cavum mesooticum entdeckt zu haben glaubte, eine Ansicht, der z.B. von Böttcher entschieden widersprochen wurde. Er vermutete, daß Goltz diesen Kleinhirnausläufer unbeabsichtigt und unbemerkt

¹¹⁰ Goltz (1870) S.187

¹¹¹ "Ich habe mir folgende Einrichtung als möglich gedacht. Wir wollen annehmen, dass die in den Ampullen vorhandenen Nervenendigungen in ähnlicher Weise geeignet sind, durch Druck oder Dehnung erregt zu werden, wie etwa die dem Drucksinne dienenden Nerven der äusseren Haut. Die in den Bogengängen befindliche Flüssigkeit (Endolympha) wird nach bekannten physikalischen Gesetzen diejenigen Abschnitte der Wandung am stärksten anspannen, welche am meisten nach abwärts gelegen sind. Je nach der Stellung des Kopfes wird die Vertheilung des Druckes der Flüssigkeit wechseln, und einer jeden Kopfhaltung wird demgemäss immer eine bestimmte Form der Nervenregung entsprechen." (Goltz (1870) S.187-188)

¹¹² Archiv für Ohrenheilkunde 5:300

¹¹³ Böttcher (1873) S.108-110

geschädigt und dadurch die Bewegungsstörungen hervorgerufen habe. Zwar sah auch er Bewegungsstörungen nach alleiniger Verletzung der Bogengänge, jedoch sollten nach seiner Auffassung die Hauptsymptome nach Kleinhirnverletzungen auftreten, also die Bewegungsstörungen vor allem Symptome einer Hirnschädigung sein.¹¹⁴

Bárány sah Goltz' Arbeit als "Ferment"¹¹⁵ in der wissenschaftlichen Gesellschaft wirken. Ewald wies darauf hin, daß sie "Hunderten von Arbeiten als Ausgangspunkt gedient"¹¹⁶ hat. Aber Goltz selbst hat nie wieder etwas über das Gleichgewichtsorgan veröffentlicht, obwohl er selbst zum Schluß seiner Arbeit ankündigte, "namentlich an Fischen die Zulässigkeit meiner Hypothesen zu prüfen".¹¹⁷

Zwei Dinge mögen hier eine Rolle gespielt haben. Zum einen erhielt Goltz im Jahre 1870 einen Ruf an die Universität Halle. Wie oben bereits dargestellt, veränderte sich die Situation für Goltz damit entscheidend. Aus einem Feierabend-Physiologen - wenn eine solche Bezeichnung angesichts seiner ausgezeichneten Reputation unter Physiologen gestattet ist¹¹⁸ - wurde der Leiter eines universitären Instituts, so daß mit der Umstellung der Arbeitsverhältnisse auch eine Veränderung der beabsichtigten Untersuchungen verbunden gewesen sein kann. Zum zweiten wandte sich Goltz' Interesse nach 1876 ausschließlich der systematischen Erforschung des Großhirns zu. Trotzdem gilt, was Adolf Fick sagte:

"Und wenn Goltz nichts Anderes publiciert hätte, wie jene wenigen Seiten, welche uns die Functionen der Bogengänge im Ohrlabyrinth enthüllen, so müssten wir ihn als einen Gelehrten first rate bewundern."¹¹⁹

4.2 Der Jahreswechsel 1873/1874

Der Jahreswechsel 1873/1874 markiert ein weiteres wichtiges Datum in der Geschichte der Vestibularisforschung. Innerhalb kurzer Zeit erschienen unabhängig voneinander drei Arbeiten, die die Goltzsche Theorie eines neuen Sinnesorgans stützten und die im Verlauf

¹¹⁴ Schklarewsky (1872)

¹¹⁵ Bárány (1913) S.398

¹¹⁶ Ewald (1903b) S.40

¹¹⁷ Goltz (1870) S.192

¹¹⁸ Als Kronzeuge sei hier Helmholtz aufgeführt, der 1869/70 in einem Brief an Goltz schrieb: "Uebrigens sind Sie ja durch Ihre ausgezeichneten physiologischen Arbeiten, die ich mit dem grössten Interesse verfolgt habe, längst allen Medicinern so bekannt.", zitiert nach Ewald (1903b) S.9

¹¹⁹ Zitiert nach Ewald (1903b) S.40

der Jahre 1874 und 1875 weiter ausgearbeitet wurden. Die Verfasser dieser Artikel waren Ernst Mach, Physiker in Prag, Josef Breuer, praktischer Arzt in Wien, und A. Crum-Brown, Chemiker in Edinburgh.

Mach berichtete über seine Versuche in der Sitzung der Wiener Akademie der Wissenschaften am 6.11.1873¹²⁰ und ließ in den Sitzungen vom 22.1.1874 und 19.3.1874 seine zweite¹²¹ und dritte¹²² Mitteilung zu diesem Thema folgen. Im Jahre 1875 brachte er unter Berücksichtigung nicht nur der Arbeiten von Breuer und Crum-Brown die Erforschung der Labyrinthfunktion für sich persönlich zu einem gewissen Abschluß durch die Veröffentlichung seines Werkes "Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen"¹²³.

Breuer, der am gleichen Thema arbeitete, jedoch mit einem anderen experimentellen Ansatz, erstattete in der "Sitzung der k.k. Gesellschaft der Aerzte in Wien" vom 14.11.1873 eine vorläufige Mitteilung¹²⁴ seiner Ergebnisse, nachdem er von der ersten Mitteilung Machs erfahren hatte. In den darauffolgenden Sitzungen am 21. und 28.11.1873 trug er dann ausführlich über seine Ergebnisse vor¹²⁵. 1875 folgte seine zweite Veröffentlichung zu diesem Thema.¹²⁶

Anscheinend ohne Kenntnis der Arbeiten Machs und Breuers ging am 19.1.1874 eine vorläufige Note von Crum-Brown bei der Royal Society in Edinburgh ein¹²⁷, in der er ebenfalls zu ähnlichen Ergebnissen kam wie seine beiden Forscherkollegen aus Prag und Wien. Natürlich ist es nicht üblich, einer Veröffentlichung eine vorläufige Mitteilung vorzuschicken. Entweder hatte Crum-Brown den (richtigen) Eindruck, daß weitere Veröffentlichungen zu diesem Thema sozusagen in der Luft lagen oder ihm waren die Veröffentlichungen Machs und Breuers bekannt geworden, ohne daß er sich darauf in seiner Vorabinformation beziehen wollte. In seiner endgültigen Veröffentlichung¹²⁸ erwähnte er jedenfalls die Arbeiten von Mach und Breuer als Stützen seiner Thesen. Die Arbeit Crum-Browns ist die kürzeste zu diesem Thema. Crum-Brown hat auch im weiteren

¹²⁰ Mach (1873)

¹²¹ Mach (1874a)

¹²² Mach (1874b)

¹²³ Mach (1875)

¹²⁴ Breuer (1874a)

¹²⁵ Breuer (1874b)

¹²⁶ Breuer (1875b). Dieser Artikel geht am 11.12.1874 noch eine kurze schriftliche Mitteilung an die Gesellschaft der Ärzte (Wien) voraus (veröffentlicht in Breuer(1875a)).

¹²⁷ Crum-Brown (1874a)

¹²⁸ Crum-Brown (1874b)

nicht mehr entscheidend in die Diskussion über die Funktion des Vestibularapparates eingegriffen. Seine Arbeit wird im folgenden als erste kurz referiert.

Crum-Brown führte Drehversuche beim Menschen durch. Den Versuchspersonen wurden die Augen verbunden, und danach wurden sie nicht zu schnell um einen nicht zu großen Winkel gedreht. Das Ergebnis seiner Untersuchungen beschrieb Crum-Brown folgendermaßen: "The experimenter could form a tolerably accurate judgment of the angle through which he had been turned."¹²⁹ Diese Angaben sind sehr ungenau, aber präzisere Angaben über die Versuchsergebnisse machte Crum-Brown nicht. Er fügte noch weitere qualitative Ergebnisse hinzu wie eine unterschiedlich exakte Schätzung des Drehwinkels für verschiedene Kopfstellungen. Für diese Fähigkeit des Menschen ist nach Crum-Brown ein "sense of rotation", ein besonderer im Kopf lokalisierter Rotationssinn verantwortlich, der uns befähigt, die Achse, die Richtung und die Stärke der Kopfdrehung zu bestimmen. Crum-Brown war klar, daß für eine solche Sinnesfunktion ein Sinnesorgan vorhanden sein muß. Dieses Sinnesorgan sah er in den Bogengängen. Durch eine Drehung bewege sich die Endolymphe durch ihre Trägheit relativ zu den knöchernen Gängen, was den adäquaten Reiz für die Ampullarnerven darstelle.

Da der einzelne Nerv jedoch nicht unterscheiden könne, ob er durch eine Rechts- oder Linksdrehung gereizt wurde, forderte Crum-Brown, daß jeder Ampullarnerv nur durch entweder eine Links- oder eine Rechtsdrehung erregt wird. Daraus folgte, daß alle sechs Kanäle zur vollständigen Information notwendig sind. Eine Stütze für seine Behauptung sah er darin, daß es tatsächlich jeweils zwei in einer Ebene liegende Kanäle gibt; und zwar entsprechen einmal die lateralen Bogengänge einander und dann jeweils ein vorderer und ein hinterer Kanal des rechten und des linken Ohres.

Die Bedeutung der Arbeit Crum-Browns liegt sicherlich in der Erkenntnis, daß die Bogengänge ein Organ zur Perzeption der Kopfdrehung sind. Die Arbeiten Flourens' und Goltz' wurden kurz erwähnt, jedoch nicht diskutiert. In ihrem wissenschaftlichen Gehalt kann sich die Arbeit Crum-Browns nicht mit den Arbeiten Machs und Breuers messen; sie hat eher den Charakter einer interessanten Hypothese. Entsprechend wurde Crum-Brown zwar von den nachfolgenden Forschern als Autor zitiert, der zeitgleich mit Mach und Breuer die Goltzsche These stützte, seine Ergebnisse aber wurden in der weiteren Diskussion kaum berücksichtigt. So wird auch unter Ausschluß von Crum-Brown von der Mach-Breuerschen Theorie der Endolymphströmung gesprochen.

¹²⁹ Crum-Brown (1874b) S.327

4.3 Ernst Mach

4.3.1 Machs Gleichgewichtsforschung

Ernst Mach (18.2.1838-19.2.1916) entwickelte seine Vorstellungen über die Funktion des Gleichgewichtsorgans ähnlich wie Purkyně aufgrund von Drehversuchen an Menschen. Für seine Experimente konstruierte er eine Rotationsmaschine (s. Abb. 6, S. 42) die ihm verschiedenste Versuchsbedingungen ermöglichte.¹³⁰ Die grundlegenden Untersuchungen von Mach finden sich in seiner ersten Veröffentlichung. Hier beschrieb er zwölf verschiedene Versuche mit seiner Rotationsmaschine und zog folgende Schlußfolgerungen:

"Man empfindet nicht die Winkelgeschwindigkeit, sondern die Winkelbeschleunigung."¹³¹

"Man empfindet die Richtung der resultierenden Massenbeschleunigung und hält diese für die Verticale."¹³²

"Man empfindet bei Verticalbewegungen nicht die Lage oder die Geschwindigkeit, sondern die Beschleunigung."¹³³

Mach hielt für die Bewegungsinformation des Menschen Kenntnisse über 1. seine Lage im Raum, 2. seine Progressivbeschleunigung und 3. seine Winkelbeschleunigung für notwendig. Ein Sinnesorgan, das eine solche Information ermitteln könnte, hielt er im Prinzip realisierbar durch "eine mit Nervenenden ausgekleidete Höhle in einem Körper B, welche irgendeinen flüssigen oder festen Inhalt A hat. [...] Im Vorhof mit den Bogengängen dürfte ein solches Organ sein."¹³⁴ Während er bezüglich der Funktion zu 1.

¹³⁰ Es sei hier Machs Beschreibung seines Rotationsapparates gegeben (nach Mach (1874) S.126): "Man denke sich einen verticalen Holzrahmen R, 4 M. lang, 2 M. hoch, um eine durch seine Mitte gehende verticale Axe leicht drehbar. In diesem befindet sich ein zweiter, kleinerer verticaler Rahmen r, ebenfalls um eine verticale Axe drehbar, welche in beliebige Distanz von der ersten Axe gebracht werden kann. Letzterer Rahmen trägt einen Stuhl, welcher sich um eine horizontale Axe α neigen lässt. Der Beobachter, welcher auf diesem Stuhl Platz nimmt, kann in die Rotationsaxe A, um die der ganze Apparat in Umschwingung versetzt wird, oder in beträchtliche Entfernung von derselben gebracht werden. Er kann in letzterem Falle vermöge der Drehbarkeit um α sowohl nach A hin sehen, als auch senkrecht auf die Ebene von α und A hinausblicken. Endlich kann dem Beobachter vermöge der Drehbarkeit um α eine mehr horizontale oder mehr verticale Lage gegeben werden. Um endlich den Gesichtsschwindel auszuschliessen, kann der ganze Beobachter in eine Art Papierkasten eingeschlossen werden."

¹³¹ Mach (1873) S.127

¹³² Mach (1873) S.129

¹³³ Mach (1873) S.131

¹³⁴ Mach (1873) S.133

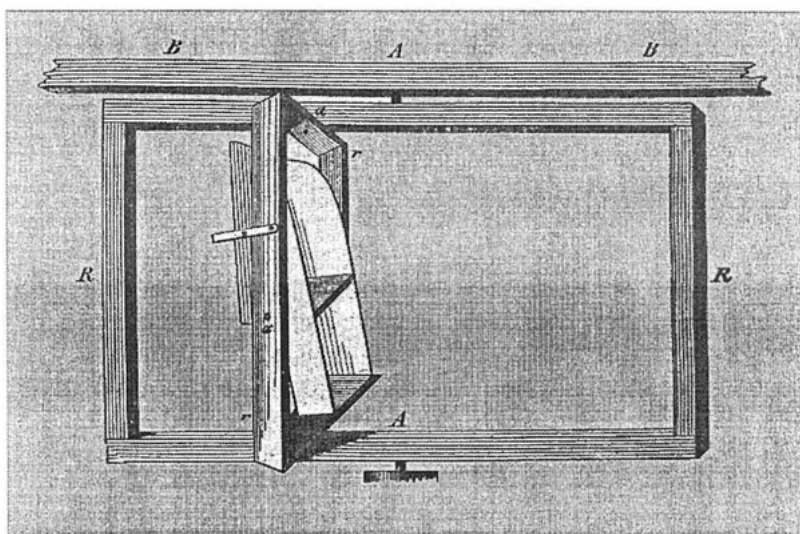


Abb. 6 Machs Rotationsmaschine¹³⁵

und 2. noch zurückhaltend war, hielt er die Bogengänge für das Sinnesorgan für die Empfindung der Winkelbeschleunigung. Im Gegensatz zu Goltz, der ja den unterschiedlichen Druck auf die Bogengänge für den adäquaten Reiz hielt, glaubte Mach, daß die Ampullen der Bogengänge das auf sie ausgeübte Drehmoment empfinden. Er wies auch durch Versuche mit Glaskapillaren auf der Rotationsmaschine nach, daß eine tatsächliche Bewegung der Endolympe aufgrund der hohen Reibungskräfte nicht zu erwarten sei.

In seiner zweiten Mitteilung führte er zwei weitere Versuche zur Rotation an. Außerdem beschäftigte er sich mit Versuchen zur Empfindung der Progressivbeschleunigung. Diese Versuche waren jedoch schwieriger als die Rotationsversuche und Machs Schlußfolgerung deswegen auch vorsichtig: "Wahrscheinlich verhalten sich die Empfindungen der Winkel- und der Progressivbeschleunigung durchaus analog."¹³⁶ Das Sinnesorgan für diese Empfindungen sollte der Sacculus sein.¹³⁷

¹³⁵ Abbildung, entnommen aus Mach (1875) S.24

¹³⁶ Mach (1874a) S.129

¹³⁷ Mach (1874a) S.124

In seiner dritten Veröffentlichung beschäftigte sich Mach mit den bisher bezüglich der Lage- und Bewegungsempfindungen geäußerten Ansichten. Hier mußte er sich natürlich vor allem mit Purkynës Erklärungen auseinandersetzen. Während er die Arbeitsergebnisse Purkynës als solche hoch schätzte, konnte er seinen Erklärungsversuchen nicht folgen. Eine direkte Affektion des Gehirns für die Erscheinungen verantwortlich zu machen, schien Mach unwahrscheinlich, da sich je nach Versuch z.B. die Druckverhältnisse stark änderten, während die beobachteten Erscheinungen die gleichen blieben. Mit einem sehr plastischen Vergleich machte er die Schwierigkeit einer Rotationsperzeption durch das Gehirn oder das Kleinhirn deutlich. Er schrieb: "Sie sei a priori so unwahrscheinlich, dass sie ohne sehr stichhaltige Beweise nicht angenommen werden kann. Mit gleichem Rechte könnte man erwarten, das mit einer Linse auf die Hirnoberfläche entworfenen Bild werde deutlich gesehen."¹³⁸ Auch die veränderte Blutverteilung schien ihm nicht plausibel, da sich eine solche vor allem durch "mächtige sekundäre Folgen"¹³⁹ zeigen müßte. Die Muskel- und Hautempfindungen wollte Mach nicht in Abrede stellen; er führte aber Versuche vor, die zeigten, daß das Perzeptionsvermögen dieser Sinne für die Bewegungsempfindung nicht genau genug ist.

Mach faßte seine drei Veröffentlichungen 1875 in einer Monographie "Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen" zusammen.¹⁴⁰ Er besprach darin zusätzlich die physikalische Theorie der Bewegung von Massen-Systemen, die Flourens'schen Versuche und trug allgemeine Überlegungen zur Theorie der Empfindungen vor. Im Vorwort zu dieser Monographie äußerte sich Mach noch einmal sehr vorsichtig über die Existenz eines speziellen Sinnesorgans zur Empfindung der Bewegung.¹⁴¹ Es war für ihn eine Hypothese, die durch seine Versuche nahegelegt wurde. Zum Schluß faßte er seine Ergebnisse in elf Sätzen zusammen, deren letzter die Bogengänge als Organ der Bewegungsempfindung charakterisiert. Er war nicht sicher, daß diese Hypothese Bestand haben würde, aber von dem bleibenden Wert seiner übrigen in den ersten zehn Sätzen zusammengefaßten Ergebnisse war er überzeugt.¹⁴²

Bereits in seiner ersten Veröffentlichung besprach Mach das Problem, wie man eine Rechts- von einer Linksdrehung unterscheiden kann. Er glaubte, hier in jeder Ampulle

¹³⁸ Mach (1875a) S. 94

¹³⁹ Mach (1874b) S.47

¹⁴⁰ Mach (1875a)

¹⁴¹ "Man wird, wie ich hoffe, finden, dass die Ergebnisse meiner Arbeit ihren Werth behalten, auch wenn man sich nicht der am Schluß entwickelten Hypothese über das Organ der Bewegungsempfindungen anschliesst." (Mach (1875) S.III)

¹⁴² "Wie man sieht, bleiben die Sätze 1 - 10 bestehn, auch wenn die in 11 ausgesprochene Hypothese fällt, da sie sich keineswegs auf letztere stützen." (Mach (1875) S.125)

zwei Nerven, die jeweils nur auf eine, aber entgegengesetzte Drehrichtung reagieren, postulieren zu müssen.¹⁴³ Dieser Ansicht widersprach er selbst in seiner zweiten Veröffentlichung.¹⁴⁴ Er entwickelte folgende Theorie: "Setzen wir einen gewissen Spannungszustand in der Ampulle voraus, so kann dieser bei einem Drehungssinn vermindert, bei einem anderen vermehrt werden."¹⁴⁵ Dies entspricht in bemerkenswerter Weise den heutigen Vorstellungen von einer Grundfrequenz an Aktionspotentialen im Nervus vestibularis, die bei Beugung der Sinneshaare der Cupula in Richtung des Utrikulus (utrikulopetal) gesteigert wird und bei entgegengesetzter Bewegung (utrikulofugal) entsprechend reduziert wird. Der Sinn der funktionellen Gegenschaltung der beiden Bogengangssysteme wird in der Erhöhung ihrer Empfindlichkeit gesehen.¹⁴⁶

In seinen "Bewegungsempfindungen" distanzierte er sich jedoch von beiden vorher geäußerten Theorien. Die zweite erwähnte er gar nicht mehr. Er schloß sich jetzt der Meinung Crum-Browns an, die, wie er schrieb, durch die Versuche Flourens' gestützt würde. Mach meinte, daß die Richtung der Bewegungsstörungen der Flourensschen Tauben zweckmäßig durch die Annahme der notwendigen Verknüpfung zweier Bogengänge erklärt werden könne.

4.3.2 Mach und die Physiologie

Ein entscheidender Beitrag zur Vestibularisforschung wurde also von dem Physiker Ernst Mach geleistet, einem Wissenschaftler, den man zwar noch als Philosophen, aber wohl nur selten als Physiologen kennt. Die wenigsten werden ihn mit Medizin in Verbindung bringen, und doch schreibt Erna Lesky:

"Es wäre hoch an der Zeit, diese Wirkung Machs auf die Wiener Medizin des letzten Drittels des 19. Jahrhunderts von Duchek, Meynert bis zu Freud und Basch sowie überhaupt Machs physiologischen Beitrag von medizinhistorischer Seite einmal zentral in den Blick zu fassen."¹⁴⁷

¹⁴³ Mach (1873) S.136

¹⁴⁴ "Ferner habe ich es für möglich gehalten, dass dem doppelten Sinne, den das Drehmoment eines Bogenganges annehmen kann, auch die Reizung zweier verschiedener Nerven entspricht. Diese letzte Annahme kann man nun, wie ich glaube, fallen lassen." Mach (1874a) S.131

¹⁴⁵ Mach (1874a) S.132

¹⁴⁶ Scherer (1984) S.99-100

¹⁴⁷ Lesky (1965) S.533

Diese Arbeit erhebt nicht den Anspruch, diesen Arbeitsauftrag Erna Leskys auszuführen, möchte aber doch einige Aspekte der physiologischen Forschungen von Mach zusammentragen.

Ernst Mach wurde 1838 in Turas in Mähren geboren, das zur Habsburger Monarchie gehörte. Mach wuchs auf dem Lande auf und wurde zunächst von seinem Vater unterrichtet. Im Alter von 10 Jahren wurde er in die unterste Klasse eines von Benediktiner-Mönchen geleiteten Gymnasiums in Niederösterreich aufgenommen. Seine schulischen Erfolge waren bescheiden. Man riet dem Vater, "den Knaben, der zum Studium untuglich sei, ein Handwerk oder ein



Abb. 7 Ernst Mach

Geschäft erlernen zu lassen."¹⁴⁸ So wurde Mach wieder von seinem Vater zu Hause unterrichtet und ging gut zwei Jahre lang bei einem Tischler in die Lehre. Hier erfuhr er viele praktische Anregungen, die ihm z.B. bei der Konstruktion seiner Rotationsapparate zugute kamen. Danach absolvierte er, diesmal mit größerem Erfolg, das Gymnasium zu Kremsier in Mähren¹⁴⁹ und schrieb sich später an der Universität Wien für Mathematik und Physik ein. Mit 22 Jahren promovierte Mach. Seinen Lebensunterhalt mußte er sich mit Vorlesungen über Mathematik, Fechners Psychophysik¹⁵⁰ und über die Helmholtzsche Lehre von den Tonempfindungen verdienen, bis er 1864 als Professor der Mathematik nach Graz und 1867 als Professor der Experimentalphysik nach Prag berufen wurde. Dort

¹⁴⁸ Herneck (1956/57) S. 210

¹⁴⁹ "Ich empfand die Schule als einen Zwang und als ein Hindernis, während ich umgekehrt meinen Lehrern als ein undankbares Objekt ihrer Mühe erscheinen mußte." Thiele (1963) S.191

¹⁵⁰ Mach 1863a

lehrte er 27 Jahre und folgte dann einem Ruf auf einen philosophischen Lehrstuhl der Universität Wien.¹⁵¹

"Das Problem des Erkennens ist das zentrale Problem der Machschen Forschung" schreibt Lampa 1923.¹⁵² Mach selbst, aufgewachsen in einem liberalen Elternhaus, beschreibt zwei Begebenheiten aus seiner frühen Biographie als bestimmend für seine gesamte Lebenseinstellung: Zum einen war das ein Erlebnis als 5-jähriger Junge beim Anblick des Räderwerks einer Mühle¹⁵³, zum anderen seine Begegnung mit den Schriften Kants als 15-jähriger¹⁵⁴. Seine Einstellung war gekennzeichnet von der Suche nach rationalen Erklärungen wie von der Überzeugung der Unzulänglichkeit aller Theorien, die für sich in Anspruch nehmen, endgültig sein zu wollen. Diese seine Überzeugung bezog sich nicht nur auf das Wissen um die Unvollständigkeit naturwissenschaftlicher Erkenntnisse, sondern ebenso auf seine Abneigung gegen angeblich umfassende philosophische Weltansichten und auch auf den Glauben an die Veränderlichkeit der einzelnen Personen, da Mach weder an ein 'Ding an sich' noch an eine 'Person an sich' glauben konnte. Als ein solch aufgeklärter, kritischer Geist hat Mach bedeutende Beiträge zur Gleichgewichtsphysiologie geleistet. Wie weiter oben bereits dargestellt, bemühte er sich dabei auch gegenüber seinen eigenen Ansichten um größtmögliche, selbstkritische Distanz und überprüfte, inwieweit sie naturwissenschaftliche Realität oder nur Interpretationen zur Erklärung der experimentellen Ergebnisse darstellten. So schrieb auch A. Einstein, einer der besten Mach-Kenner, in seiner Autobiographie: "Ich sehe Machs wahre Größe in der unbestechlichen Skepsis und Unabhängigkeit."¹⁵⁵

¹⁵¹ Nach Mayerhöfer wollte Mach aus Prag weg nach Wien wechseln und hatte sich sogar mit dem Gedanken getragen, in Physik "nur" eine Honorarprofessur anzunehmen. Der ihm von dem Philologen Theodor Gomperz angetragene Vorschlag, den dritten philosophischen Lehrstuhl anzutreten, wurde von Mach deshalb sehr gerne angenommen. (Mayerhöfer (1967))

¹⁵² Lampa (1923) S. 94

¹⁵³ "Wir hatten eine Post an den Müller zu bestellen. Die stehende Mühle kam bei unserem Eintritt eben in Gang. Der entsetzliche Lärm, der mich erschreckte, konnte mich nicht hindern, die Verzahnung der Welle zu sehen, welche in die Verzahnung des Mahlganges eingriff und einen Zahn nach dem anderen fortschob. Dieser Anblick wirkte bis in mein reiferes Denken nach und hob nach meinem Gefühl das kindliche Denken von dem Niveau des wundergläubigen Wilden zum kausalen Denken empor." Zit. nach Herneck (1956/57) S. 210

¹⁵⁴ Über die "Prolegomena" von Kant sagt Mach: "Sie machte einen gewaltigen Eindruck auf ihn [auf Mach selbst], zerstörte den naiven Realismus des Jungen, gewann sein Interesse für Erkenntnistheorie und vernichtete durch den Einfluß des Metaphysikers Kant alle Neigung zur Metaphysik bei ihm. [...] Vom Kantschen kritischen Idealismus kam ich bald ab. Das 'Ding an sich' erkannte ich noch als Knabe als eine unnütze metaphysische Erfindung, als eine müßige metaphysische Illusion." Zit. nach Herneck (1956/57) S. 211-212

¹⁵⁵ Einstein, Albert, in seiner wissenschaftlichen Autobiographie, die er für den Festband schrieb, der zu seinem 70. Geburtstag (1949) herausgegeben wurde. Hier zit. nach dem Vorwort von Friedrich Herneck zur Neuauflage (1987) von Mach (1923)

Die Grundlage für Machs Interesse an der Gleichgewichtsforschung wurde schon während seines Studiums gelegt.

"Mach hat in seiner Wiener Studienzeit (1854-59) Veranstaltungen von Ernst Wilhelm v. Brücke und Carl Ludwig gehört. Aus dieser Zeit stammen auch die Anregungen zu physiologischen Arbeiten, beginnen die Kontakte zu einer Reihe von Schülern Brückes, insbesondere zu Josef Breuer."¹⁵⁶

In Machs chronologischer Bibliographie¹⁵⁷ finden sich gerade zu Beginn seiner Veröffentlichungstätigkeit viele Arbeiten, die sich mit akustischen oder optischen Problemen der Physiologie beschäftigen. In einer dieser Arbeiten gibt er einen Hinweis, was ihn als Physiker an der Physiologie interessierte. Er beschreibt dort seine Vorstellung von einer gewissen Komplementarität von Technik und Physiologie:

"Probleme der Technik und Probleme der Physiologie sind oft sehr verwandt. Die Technik stellt uns die Aufgabe, gewisse Zwecke zu erreichen, und lässt innerhalb bestimmter Grenzen die Wahl der Mittel frei. In der Physiologie hingegen finden wir gewisse Zwecke erreicht und haben nach den Mitteln zu forschen, welche wirklich zur Anwendung gekommen sind."¹⁵⁸

Seine Arbeiten über den Gleichgewichtssinn passen sich somit logisch in sein wissenschaftliches Programm ein. Vielleicht fühlte er sich auch durch ein Gespräch verpflichtet, das er 1863 kurz nach dem Erscheinen von Helmholtz' "Tonempfindungen" mit einem Mediziner führte. Er schreibt: "In einem Zwiegespräch, welches ich mit einem Doktor der Medizin hatte, erklärte es dieser als ein fast hoffnungsloses Unternehmen, auch die Funktion der anderen Labyrinthteile [außer der Schnecke] ergründen zu wollen, während ich in jugendlichem Übermut behauptete, diese Frage müßte gelöst werden, und zwar bald."¹⁵⁹ Mach selbst erfüllte zehn Jahre später seine frühere Prophezeiung. Nach 1875 sind aber keine weiteren experimentellen Arbeiten Machs zum Gleichgewichtssinn bekannt, d.h. nur in einer kurzen Phase von einigen Jahren führte Mach eigene Experimente zu diesem Thema durch. Blackmore vertritt dazu folgende These:

"Mach probably turned away from further labyrinth investigations partly because his interest were more with sensations as sensations than with bodily structure, and partly, because he may have anticipated that it was possible to study organ structure and function only so far in an informative way without having to rely on vivisection."¹⁶⁰

¹⁵⁶ Thiele (1975) S.40

¹⁵⁷ Thiele (1963)

¹⁵⁸ Mach (1863) S. 283

¹⁵⁹ Mach (1923) S. 409-410

¹⁶⁰ Blackmore (1972) S.54

Diese Einschätzung Blackmores erscheint schlüssig. Das Thema als solches interessierte Mach aber weiter, wie auch seine Korrespondenz mit Breuer über diesen Gegenstand zeigt, die sich mindestens bis 1908 erstreckte.¹⁶¹ Am 24.2.1897 hält er z.B. auch noch einen populärwissenschaftlichen Vortrag "Über Orientierungsempfindungen", in dem er sich außerordentlich gut informiert zeigt über die relevante neuere Literatur.¹⁶² Er bringt sogar noch ein kleines Modell aus zwei drehbaren Scheiben mit, deren eine einen knöchernen Bogengang, deren zweite den flüssigen Bogengangsinhalt darstellen sollte.¹⁶³ Schließlich muß sein in vielen Auflagen erschienenes Werk "Beiträge zur Analyse der Empfindungen"¹⁶⁴ hier genannt werden. Bereits in den "Bewegungsempfindungen" finden sich im Kapitel "Vergleichung der Bewegungsempfindungen mit anderen Sinnesempfindungen"¹⁶⁵ allgemeine Überlegungen zu den Sinnesempfindungen. Dies wird in den "Beiträgen zur Analyse..." weiter ausgeführt und auf alle Sinnessysteme erweitert. In jeder neuen Auflage wird auch die neue Literatur über das Gleichgewichtsorgan diskutiert. Nur in der letzten von ihm selbst besorgten Auflage der "Analyse" läßt er die experimentellen Arbeiten von Pollack referieren.¹⁶⁶ In dieser Auflage schreibt er auch:

"Wäre ich überhaupt noch in der Lage zu experimentieren, so würde ich die Bewegungsempfindungen an sich nochmals von Grund auf untersuchen. Der Unterschied in dem Verhalten der Winkel- und Progressivbeschleunigung scheint mir jetzt bedeutend."¹⁶⁷

Dies läßt Machs Abstinenz bzgl. eigener vestibularphysiologischer Untersuchungen in einem etwas anderen Licht erscheinen. Mach experimentierte nur, solange er glaubte, tatsächlich etwas zum Fortschritt der Forschung beitragen zu können und solange er eine klare Fragestellung hatte, die er beantworten zu können glaubte.

Schließen soll der Absatz über Mach mit einem Zitat von Einstein aus seinem Nachruf auf den von ihm hoch geschätzten Kollegen:

"Beim Lesen der Machschen Werke fühlt man angenehm das Behagen, das der Autor beim mühelosen Niederschreiben seiner prägnanten, treffenden Sätze gefühlt haben muß. Aber nicht nur intellektuelles Vergnügen und

¹⁶¹ Thiele (1975)

¹⁶² Mach (1923) S. 384-410

¹⁶³ Mach (1923) S. 396

¹⁶⁴ Mach (1886); in den weiteren Auflagen lautet der Titel "Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen"

¹⁶⁵ Mach (1875a) S. 54-65

¹⁶⁶ "Da ich nun seit Jahren nicht mehr in der Lage bin, die experimentellen Arbeiten auf diesem Gebiet [der Vestibularisphysiologie] zu verfolgen, habe ich Herrn Prof. Dr. Josef Pollack gebeten, hier dasjenige aus den neuesten Arbeiten hervorzuheben, was für die Leser von Interesse sein möchte." Mach (1911) S. 126

¹⁶⁷ Mach (1911) S. 115-116

Freude am guten Stil machen die Lektüre seiner Bücher immer wieder so anziehend, sondern auch die gütige, menschenfreundliche und hoffnungsfrohe Gesinnung, die oft zwischen den Zeilen hervorschimmert."¹⁶⁸

4.4 Josef Breuer

Eine wichtige Persönlichkeit in der Vestibularisforschung ist Josef Breuer (15. 1. 1842 - 20. 6. 1925).¹⁶⁹ Zeit seines Lebens blieb er seiner Geburtsstadt Wien treu. Er studierte an der dortigen Universität Medizin und arbeitete seit 1871 als praktischer Arzt. Seine wissenschaftlichen Interessen wurden durch seine physiologische Ausbildung bei Brücke entscheidend geprägt: "[Ich] wurzelte dort an der Physiologie mit meinen Interessen für alle Zeit fest."¹⁷⁰ Bereits 1868 publizierte er zusammen mit Hering eine wichtige Arbeit: "Die Selbststeuerung der Atmung durch den Nervus vagus." Trotz



Abb. 8 Josef Breuer

seiner Habilitation Mitte der siebziger Jahre und der von Billroth vorgeschlagenen Möglichkeit eines Extraordinariats wollte Breuer lieber als praktischer Arzt arbeiten, und das tat er mit großem Erfolg. "Er war der Hausarzt eines Brücke, Billroth, Kaposi, Exner, um nur einige der berühmtesten Professoren der Wiener Fakultät dieser Zeit zu

¹⁶⁸ Einstein, Albert. "Ernst Mach", hier zit. nach Mach (1923) S. 646

¹⁶⁹ Biographische Angaben zu Breuer u.a. in König (1957), Lesky (1965) S.535-537, Meyer (1928)

¹⁷⁰ Breuer in einer für die Akademie der Wissenschaften (Wien) verfaßten Selbstbiographie, hier zitiert nach Lesky (1965) S.536

erwähnen."¹⁷¹ Seine physiologischen Studien führte er in seiner Privatwohnung durch. "Ich bin praktischer Arzt, und meine Arbeitszeit ist der späte Abend und die Nacht, und mein Arbeitsraum ist meine Wohnung. Ich konnte dort an Tauben arbeiten, aber nicht eingreifende Operationen an Säugetieren vollziehen."¹⁷² 1894 wurde er zum korrespondierenden Mitglied der Wiener Akademie der Wissenschaften gewählt, eine ungewöhnliche Auszeichnung für einen Praktiker, der keinerlei akademisches Amt bekleidete.

Ende der siebziger Jahre begann Breuers Freundschaft mit Sigmund Freud, die sich besonders durch wissenschaftlichen Austausch auszeichnete. Breuer beschäftigte sich seit 1880 intensiv mit Hysterie und Hypnose und kann als Begründer der kathartischen Methode gelten. Seine Patientin Bertha Pappenheim ging als Anna O. in die psychoanalytische Literatur ein. Sowohl die Charaktere Breuers und Freuds als auch ihre wissenschaftlichen Ansichten widersprachen jedoch einander, so daß die Freundschaft um 1900 zerbrach.

Alle überlieferten Zeugnisse sprechen dem Menschen Breuer das höchste Lob aus. So sagte z.B. Freud 1883: "Mit Breuer zu sprechen ist so, wie in der Sonne zu sitzen; er strömt Licht und Wärme aus."¹⁷³ König nennt ihn "einen wirklich Weisen", einen "bescheidenen, sich dauernd verleugnenden und in einen Mantel von Güte eingehüllten"¹⁷⁴. Schließen soll diese kurze biographische Skizze mit Breuers eigenen Worten:

"[...] darf ich mich wohl als einen Glücklichen bekennen. Wenn etwas den Neid der Götter abwenden kann, ist es meine tiefe Überzeugung, daß ich weit über Verdienst beglückt war."¹⁷⁵

Die erste Veröffentlichung Breuers über das Gleichgewichtsorgan ist weniger eine experimentelle Arbeit, als vielmehr eine auf die Literatur gestützte und mit originären Ideen bereicherte Auseinandersetzung mit der Theorie der Bogengänge. Dies veranlaßte z.B. Böttcher zu der Kritik: "Die ganz allgemein gehaltenen Angaben über einzelne wenige experimentelle Versuche, die sich bei Breuer finden, sind nicht entscheidend."¹⁷⁶ Breuer

¹⁷¹ Wodak (1956) S.9

¹⁷² Breuer (1897) S. 626

¹⁷³ König (1957) S.282

¹⁷⁴ König (1957) S.284

¹⁷⁵ Breuer in einer für die Akademie der Wissenschaften (Wien) verfaßten Selbstbiographie, hier zitiert nach Meyer (1928) S.47

¹⁷⁶ Böttcher, hier zit. nach Breuer (1875b) S.150

diskutierte vor allem die Arbeiten von Goltz, Purkyně und Hitzig. Er erkannte klar, daß die Goltzsche Vorstellung des Funktionsmechanismus in den Bogengängen falsch ist.

"Wenn mir somit die Vorstellung von dem Mechanismus des Apparates, die Goltz andeutet, unhaltbar erscheint, so meine ich doch, dass seine Anschauung von der Leistung des Organs die richtige ist und dass er allerdings das Wort des Räthsels gefunden und ausgesprochen hat."¹⁷⁷

Breuer behauptete dagegen, daß durch die Ampullen die Drehbewegung des Kopfes empfunden wird durch eine tatsächliche Bewegung der Endolympe relativ zu den Bogengängen. Diese Differenz zwischen Breuer und Mach, der ja eine tatsächliche Bewegung der Endolympe verneint, war Mach so wichtig, daß er nach einer Besprechung beider Arbeiten eine auf diesen Unterschied hinweisende Bemerkung veröffentlichte.¹⁷⁸

Nachdem Breuer für die Bogengänge als Organ der Drehempfindung schwerwiegende Gründe vorgebracht zu haben glaubte, diskutierte er die Möglichkeit eines Organs zur Perzeption einer geradlinigen Bewegung.¹⁷⁹ Der Utrikulus schien ihm ein solches Organ sein zu können. Breuer wies hier auch schon auf die Hörbläschen der niederen Tiere hin. Es schien ihm im Rahmen der Phylogenese für ein Tier wichtiger und damit wahrscheinlicher, daß sich zuerst ein Organ entwickelt, das die Bewegungsempfindung vermittelt, als ein Organ für das Hören.

Zum Schluß berichtete Breuer über eigene Versuche an Tauben. Hier zeigte er auf, daß sich eine Taube nach Drehung und nach Verletzung der Bogengänge analog verhält.

"Immerhin dürfte das Angeführte genügen, um das Mysteriöse der Flourensschen Versuche völlig zu entfernen. Nicht bloss benehmen sich die Vögel mit verletzten Bogengängen, abgesehen von ihren Kopfhaltungen und -bewegungen wie schwindelig, sondern eben diese Verdrehung und der Nystagmus des Kopfes ist nichts als die Form, unter welcher der gewöhnliche Schwindel bei Vögeln erscheint."¹⁸⁰

Während also die erste Veröffentlichung vor allem Breuers theoretische Überlegungen darlegte, glaubte Breuer nun, in seiner zweiten Arbeit "für die theoretischen Hauptsachen

¹⁷⁷ Breuer (1874b) S.78-79

¹⁷⁸ "Ich muss zu dem zitierten Referate bemerken, da dies aus demselben nicht ersichtlich ist, dass meine kurz vor der Breuerschen Arbeit erschienene Abhandlung eine vollständige Theorie der beobachteten Erscheinungen enthält, welche sich von der Breuer'schen dadurch unterscheidet, dass auf Grund von Versuchen und physikalischen Betrachtungen von wirklichen Bewegungen der Endolympe abgesehen wird. Auf letzteren Punkt muss ich aber Gewicht legen." Archiv für Ohrenheilkunde (1875) 9:132 Bemerkung zu dem Referate Bd. VIII Heft 4 S. 305 von E. Mach, vergleiche hierzu auch Mach (1875) S.115-119

¹⁷⁹ Breuer (1874b) S. 112-116

¹⁸⁰ Breuer (1874b) S.120-121

[...] den experimentellen Beweis vorlegen zu können."¹⁸¹ Zunächst allerdings suchte er nach einer passenden Benennung des neu erkannten Sinnes. Der Name Gleichgewichtsorgan schien ihm zu sehr "totum pro parte" zu sein und die Bedeutung der Augen oder der Tast- und Muskelempfindungen für die Erhaltung des Gleichgewichts völlig zu vernachlässigen. Gestützt auf den Vorschlag eines Herrn Dr. P. Niemeyer führte er dann den Begriff "statischer Sinn" ein.

Anschließend beschrieb Breuer unter detaillierter Angabe seiner Versuchsprotokolle die von ihm durchgeführten Tierversuche an Tauben, Kaninchen und Fröschen und die unmittelbaren Schlußfolgerungen dieser Versuche für die Theorie einer neuen Funktion der Vestibularorgane. Im Prinzip führte er bereits das gesamte Repertoire an Versuchen zur Bogengangsphysiologie aus, und zwar Drehversuche, mechanische Zerstörungen der Bogengänge, elektrische Reizungen, Druckerhöhungen u.a., um dann seine theoretischen Vorstellungen zu erläutern. Als erstes sah er sich durch Machs Bemerkungen gezwungen, die Vorstellung von einer tatsächlichen Bewegung der Endolympe aufzugeben.¹⁸² Eine solche Bewegung hätte leicht die Nachdauer der Bewegungsempfindungen nach einer Drehbewegung erklären können. Breuer gab nun eine, wie er selbst sagt, rohe Vorstellung des die Bewegungsempfindung auslösenden physikalischen Reizes auf die Sinneshaare in den Bogengängen, die darin besteht, daß er die konkrete Bewegung der Endolympe ersetzt durch den erhöhten oder verminderten Druck der Endolympe auf die Sinneshaare. Mit dieser Veränderung konnten dann alle Aussagen weiter bestehenbleiben.

In einem anderen Punkt mußte er jedoch Mach widersprechen. "Ich habe mich mit aller Sicherheit davon überzeugt, dass Tauben, denen der Vestibularapparat einer Seite völlig extirpiert war, auch ohne zu sehen, Drehungen nach jeder Richtung mit kompensierenden Bewegungen beantworten. [...] so muß es das unwahrscheinlich erscheinen lassen, dass Bogengänge nur die Bewegung in einer Richtung percipiren."¹⁸³ Diese Auseinandersetzung muß vor allem auch gesehen werden vor dem Hintergrund des von Müller formulierten ehernen Gesetzes von der "spezifischen Sinnesenergie". Die erste Formulierung dieses Gesetzes gab Müller mit den Worten, "daß die Energien des Lichten, des Dunklen, des Farbigen nicht den äußeren Dingen, den Ursachen der Erregung, sondern der Sehsinns substanz selbst immanent sind, daß die Sehsinns substanz nicht affiziert werden könne, ohne in ihren eingeborenen Energien des Lichten, Dunklen, Farbigen tätig zu

¹⁸¹ Breuer (1875b) S. 89

¹⁸² Breuer (1875b) S.123-127

¹⁸³ Breuer (1875b) S.134

sein."¹⁸⁴ In einer allgemeineren Formulierung besagt dies, daß jede Nervenfaser, unabhängig von der Art ihrer Erregung, immer nur eine einzige ihr zukommende Empfindung vermittelt, die nur in Intensität und Dauer variieren kann. Die Gültigkeit dieses Gesetzes war zwar gar nicht so klar nachgewiesen, aber es wurde vor allem auch durch die große Autorität Müllers fast zu einem Dogma erhoben. Fast jeder Autor zitierte in diesem Zusammenhang das Gesetz von den "spezifischen Sinnesenergien", und jeder bemühte sich, die Vereinbarkeit seiner Vorstellungen mit diesem Gesetz nachzuweisen. So schien es auf den ersten Blick unvereinbar mit diesem Gesetz, wenn ein und derselbe Nerv eine Rechts- und eine Linksdrehung zur Empfindung bringen sollte.

Insgesamt glaubte Breuer, hinreichende Beweise für die Richtigkeit der Goltzschen Vorstellung beigebracht zu haben, der "Fundamentalannahme", wie Breuer es nennt. Zwar mochte er bei den Erklärungen einzelner "eigenthümlicher und verwickelter Phänomene" nicht unbedingt für alle Einzelheiten garantieren, sah aber gerade den großen Vorteil der "Fundamentalannahme" darin, solche Erklärungen überhaupt zu ermöglichen, während bei Ablehnung des Goltzschen Vorschlags nur der diffuse Hinweis auf unbestimmte zentrale Prozesse übrigbliebe.¹⁸⁵

¹⁸⁴ Johannes Müller "Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes" Leipzig 1826. Hier zit. nach Nagel (1910) S. 4

¹⁸⁵ Breuer (1875b) S. 133

5. Die Entwicklung der Lehre vom Vestibularapparat

In einer etwas blumigen, aber zutreffenden Weise beschrieb Bárány den Verlauf der Vestibularisforschung:

"Hatten Purkyně und Flourens (1825-1828) ein geniales Präludium ersonnen, Ménière (1861) den ersten Satz in kühnem Schwunge eingeleitet, Goltz (1870) ein neues Thema geistreich angeschlagen, so schließt mit der Aufstellung der Lehre Machs, Breuers und Crum-Browns (1874) der erste Satz mit einem kräftigen Akkord. Der zweite Satz ist wie eine richtige Fuge, wo viele Stimmen durcheinander schwirren, bald sich miteinander harmonisch verbinden, bald wieder einander bekämpfen, auf verschlungenen Wegen einander folgen oder fliehen;"¹⁸⁶

Die "Partitur der Fuge" nun Takt für Takt nachzuarbeiten - um im Bild zu bleiben -, wäre sicherlich eine wenig interessante und vor allem wenig erhellende Beschäftigung. Wenn es nicht so schwierig wäre, im Dickicht der Veröffentlichungen den Überblick zu behalten, hätte es der Arbeiten Sterns und von Steins nicht bedurft. Die Gliederung von einem dieser beiden Autoren zu übernehmen und vielleicht nur mit aktuellen Einschätzungen zu ergänzen, schien der hier zu bewältigenden Aufgabe nicht gerecht zu werden. In dieser Arbeit wurde deshalb eine eigenständige und aus diesem Grunde selbstverständlich subjektive Gliederung vorgenommen. Nicht alle Veröffentlichungen zum Thema finden Berücksichtigung und schon gar nicht alle im gleichen Umfang. Es wird versucht, den bedeutendsten Autoren jeweils ein eigenes Kapitel zu widmen, um ihre Arbeiten im Zusammenhang darzustellen. Die Entscheidung darüber, wer für den Fortschritt der Forschung von Bedeutung gewesen ist oder aus heutiger Sicht so erscheint, fiel nicht schwer. Nicht die Anzahl der Veröffentlichungen war entscheidend, sondern die originären Beiträge und die Bedeutung in der damaligen wissenschaftlichen Auseinandersetzung. Aus diesem Grunde ist Ewald, Cyon, Högyes, Hensen und natürlich Bárány im folgenden ein eigenes Kapitel gewidmet. Die anderen Kapitel versuchen, die Beiträge verschiedener Autoren unter einem gemeinsamen Thema zu subsumieren. So kann es vorkommen, daß ein und dieselbe Veröffentlichung in verschiedenen Kapiteln zitiert wird. Ebenso gibt es vielerlei Verbindungen zwischen den einzelnen Arbeiten, denn eine qualifizierte wissenschaftliche Arbeit und auch die weniger qualifizierten Arbeiten diskutieren alle die Literatur zu ihrem Forschungsgegenstand. Diese wechselseitigen Verknüpfungen konnten

¹⁸⁶ Bárány (1913) S.309

natürlich nur in einigen wenigen Fällen dargestellt werden, wo sie für das gesamte Thema einen wichtigen oder exemplarischen Beitrag lieferten.

"Neues kommt relativ wenig hinzu.", behauptete Bárány.¹⁸⁷ Dies erscheint so nicht richtig, denn es wurde von den verschiedenen Autoren eine Fülle von Details zusammengetragen. Für einige Arbeiten trifft allerdings Bárány's Einschätzung zu, daß wenig Substantielles zur Aufklärung der Funktion der Bogengänge und Otolithen beigetragen wird. Eine unübersichtliche Fülle an unterschiedlichsten Experimenten wurde durchgeführt. Es wurden tierexperimentelle Untersuchungen an verschiedensten Tieren wie Vögeln, Fröschen, Kaninchen, Fischen u.a. gemacht. Mit exotischeren Tieren wie Tanzmäusen und Seepferdchen wurde ebenfalls experimentiert. Als Untersuchungsmethoden wendete man mechanische, chemische, elektrische und thermische Reizungen und Zerstörungen unterschiedlichen Ausmaßes und unterschiedlicher Lokalisation an. Es wurden Versuche mit gesunden menschlichen Probanden und auch mit Gehörlosen vorgenommen. Immer wieder wurden auch Einzelbeobachtungen heftig diskutiert, wobei hier vor allem die "Exner'schen Kaninchen" und die "Munk'sche" Taube zu nennen sind. So machte Exner Mitteilung von drei Kaninchen aus seiner Kaninchenzucht, die den Kopf schief hielten und auch noch andere Bewegungsstörungen zeigten. Die Sektion ergab ein völlig vereitertes Labyrinth, aber "in keinem Fall war das Kleinhirn, auch nicht der hart am Gehörorgan anliegende Lappen desselben sichtlich affiziert."¹⁸⁸ Eine auch im folgenden häufig zitierte Kuriosität berichtete Munk 1878 in der Berliner physiologischen Gesellschaft. Er hatte von einem Taubenzüchter eine Taube erhalten, die in Ruhestellung ihren Kopf in konstanter Weise schief hielt. Bei der Sektion der Taube stellte sich heraus, daß auf der rechten Seite einzig und allein die Bogengänge fehlten.¹⁸⁹

Es zeigt sich, daß nicht die Methode des Experiments das Entscheidende ist, sondern die klare Fragestellung, die man durch ein Experiment beantworten möchte, und die Schlußfolgerungen, die aus einem solchen Experiment gezogen werden. Häufig scheinen die Versuche nur eine pseudowissenschaftliche Untermauerung der eigenen vorgefaßten Meinung zu sein, die aber in vielen Fällen mit einer Entschiedenheit vertreten wird, die keinen Widerspruch duldet. Die Schlußfolgerungen sind dabei häufig sehr gewagt und mindestens aus nachträglich besserer Perspektive zuweilen geradezu lächerlich. Diese harte Beurteilung erfolgt nicht aus Arroganz gegenüber früheren Arbeiten, sondern möchte im Gegenteil davor warnen, heute ähnliche Trugschlüsse zu ziehen.

¹⁸⁷ Bárány (1913) S.309

¹⁸⁸ Exner (1874) S.155

¹⁸⁹ Munk (1878)

In der Dissertation von Anna Tomaszewicz wird eine triftige Dreiteilung der verschiedensten Stellungnahmen zur Deutung der Bewegungsstörungen getroffen: "Entweder sind

- 1) die Bogengänge Gleichgewichtsorgane, oder
- 2) die operativen Eingriffe an den Bogengängen sind von mehr oder weniger palpablen Veränderungen des Centralorgans begleitet, oder
- 3) die Bogengänge sind Gehörorgane und die ihre Verletzung begleitenden Erscheinungen lassen sich von abnormen Gehörsempfindungen ableiten."¹⁹⁰

Goltz, Mach, Breuer und die anderen Verfechter der Lehre vom Gleichgewichtsorgan vertraten natürlich den ersten Standpunkt. Purkyně wurde häufig als Kronzeuge angeführt für die Vorstellung, daß die Bewegungsstörungen auf Affektionen des Gehirns zurückzuführen sind, und die meisten ernstzunehmenden Kritiker wie Hitzig und Hensen vertraten den gleichen Standpunkt. Ein entschiedener Vertreter dieser Ansicht war auch Baginsky, Schüler Lucaes und Privatdozent in Berlin, der sich in mehreren Veröffentlichungen recht apodiktisch zu diesem Thema äußerte.¹⁹¹ Bereits 1885 hielt er die Vorstellung eines Gleichgewichtsorgans im Ohr für obsolet.¹⁹²

Die Thesen der Autoren, die "abnorme" Gehörsempfindungen für die Bewegungsstörungen verantwortlich machen wollten, sind teilweise schwer nachvollziehbar. Bornhardt gibt hierfür ein Beispiel.¹⁹³ Seiner Meinung nach sollten die Bogengänge Schwebungen empfinden können, die durch die Kontraktion von Kopfmuskeln hervorgerufen werden. Durch diesen sogenannten Muskelton sollten dann die Muskelempfindungen verstärkt werden, was die Bewegungsempfindungen hervorrufen sollte.¹⁹⁴ Aber auch in einem Artikel von Bechterew, der ein Verfechter der Lehre vom Gleichgewichtsorgan war, ist sehr schön zu erkennen, welche Schwierigkeiten die gedankliche Trennung eines schallempfindenden Apparates und eines den Bewegungszustand perzipierenden Apparates in so enger anatomischer Verknüpfung im Innenohr verursachte. So sagte Bechterew zwar:

¹⁹⁰ Tomaszewicz (1877) S. 5-6

¹⁹¹ "Nur das lässt sich aus den vorliegenden Tatsachen mit Sicherheit behaupten, dass, welche Funktionen die Bogengänge auch immer haben mögen, sie der Erhaltung des Körpergleichgewichts nicht dienen und dass sie Sinnesorgane für den sogenannten statischen Sinn nicht sind, da die Schwindelercheinungen nach Bogengangverletzungen bei den Säugetieren wie bei den Vögeln nicht anders als in Verbindung mit Hirnläsionen auftreten, und zwar mit Hirnläsionen, welche zur Erklärung der Schwindelercheinungen ausreichend sind." Baginski (1881a) S. 446; s.a. Baginsky (1881b, 1885a,b, 1888)

¹⁹² "...nachdem die eine Zeitlang in die Wissenschaft eingeführte Anschauung, dass die Bogengänge mit ihren Nerven Organe des Gleichgewichts sind, fast allgemein verlassen ist", Baginsky (1885b) S. 253

¹⁹³ s.a. Kiesselbach (1882)

¹⁹⁴ Bornhardt (1876) S. 517

"Die semicirculären Canäle sind Organe, die nicht nur der Gleichgewichtserhaltung des Kopfes sondern der des ganzen Körpers dienen." Wenige Zeilen später mischte er aber doch wieder das Hören mit hinein: "Die Einwirkung von Schalleindrücken auf die Bewegungen und den Gleichgewichtszustand des Körpers geschieht aller Wahrscheinlichkeit nach vermittelt der semicirculären Canäle."¹⁹⁵

Abgesehen von solch unklaren Vorstellungen, muß natürlich die zunächst selbstverständlich erscheinende Auffassung beleuchtet werden, daß die Bogengänge zur Schallperzeption notwendig sind. Aus diesem Grund und wegen der organischen Verbindung der Gleichgewichtsrezeptoren mit dem Gehörorgan ist dem Thema "Hören und Gleichgewicht" ein eigenes Kapitel gewidmet.

Es gab jedoch auch noch andere eher metaphysische Argumentationen. Cyon z.B. glaubte, daß uns erst die Bogengänge die Vorstellung eines dreidimensionalen Raumes ermöglichen; er wird in einem eigenen Kapitel noch ausführlich zu Wort kommen. Eine andere These vertrat Berthold. Wenn es sich bei den Bogengängen um ein Sinnesorgan handeln sollte, so müßten Vorstellungen vermittelt werden. Das würde die Funktion des Großhirns voraussetzen, aber schon Flourens habe die Bewegungsstörungen bei enthirnten Tauben gesehen. Aus diesem Grunde könnten die Bogengänge kein Organ für den Bewegungszustand sein.¹⁹⁶ Schon sehr viel fundierter äußerte sich Nagel zu dieser Frage. Er hielt es für erwiesen, daß über das Vestibularorgan Informationen über den Bewegungszustand des Kopfes übermittelt werden. Aber er sträubte sich dagegen, dieses Organ als Sinnesorgan zu bezeichnen. Seiner Meinung nach handelte es sich überwiegend oder ausschließlich um ein reflexauslösendes Organ.¹⁹⁷ Für Mach hatten solche Diskussionen wenig Bedeutung. Er antwortete auf solche Argumente eher pragmatisch:

"Ich glaube doch nicht, daß auf die philologische Frage, ob das berühmte Erscheinungsbild ein Sinn zu nennen sei, irgendjemand besonderen Wert legt. Das Gebiet wird auch nicht verschwinden, wenn der Name verschwindet!"¹⁹⁸

¹⁹⁵ Bechterew (1883 a) S. 347

¹⁹⁶ Berthold (1875) S. 90

¹⁹⁷ Nagel (1910) S. 3

¹⁹⁸ Mach (1910) S. 399

5.1 Andreas Högyes

Wichtige Untersuchungen zum Vestibularapparat wurden von dem Ungarn Andreas Högyes (30.11.1847 - 8.9.1906)¹⁹⁹ gemacht. Högyes war Professor für allgemeine Pathologie und Pharmakologie zunächst in Kolozsvár (Klausenburg) und ab 1883 in Budapest. Er arbeitete vor allem über Krankheiten des Zentralnervensystems und beschäftigte sich von 1879 bis 1886 mit dem Vestibularapparat, wo er den Zusammenhang zwischen Labyrinth und Augenbewegung studierte.



Abb. 9 Andreas Högyes

Seine wichtige Arbeit auf dem Gebiet der Vestibularisforschung "Der

Nervenmechanismus der associierten Augenbewegungen" wurde im Jahre 1881 in drei Abschnitten in den Mitteilungen der ungarischen Akademie der Wissenschaften in ungarischer Sprache veröffentlicht. Diese Arbeit wurde zwar auch in deutschen Zeitschriften besprochen,²⁰⁰ eine deutsche Übersetzung war ebenfalls vorgesehen,²⁰¹ kam jedoch zunächst nicht zustande, so daß der Einfluß dieser Veröffentlichungen in Deutschland gering blieb. In Budapest wurde Högyes für diese Arbeit der Balassa-Preis der kgl. Ärztesgesellschaft verliehen.²⁰² Posthum unterstützte die ungarische Akademie der Wissenschaften im Jahr 1912 die Übersetzung dieser Arbeit ins Deutsche und die Monatsschrift für Ohrenheilkunde und Laryngo-Rhinologie veröffentlichte ausnahmsweise

¹⁹⁹ Biographisches zu Högyes in Högyes (1912), Pogány (1967)

²⁰⁰ Klug (1881)

²⁰¹ Högyes selbst kündigt in Högyes (1881) S.561 eine deutsche Übersetzung an.

²⁰² Högyes (1912) S.683

diese Arbeit als Übersetzung, versehen mit einem Vorwort des Übersetzers.²⁰³ In der vorliegenden Arbeit wird aus dieser Übersetzung zitiert.

Das zentrale Thema der Högyesschen Arbeit war der Zusammenhang zwischen Körperdrehung und Augenbewegung. Högyes wurde durch Zufall auf diesen Zusammenhang aufmerksam, als er auf einer Zentrifugiermaschine den Einfluß der Drehung und damit angenommener Zirkulationsstörungen auf die Temperatur des Mastdarms untersuchen wollte. Bei den für dieses Experiment verwendeten Kaninchen bemerkte er einen deutlichen Nystagmus und beschloß, dieses Phänomen eingehender zu untersuchen.²⁰⁴

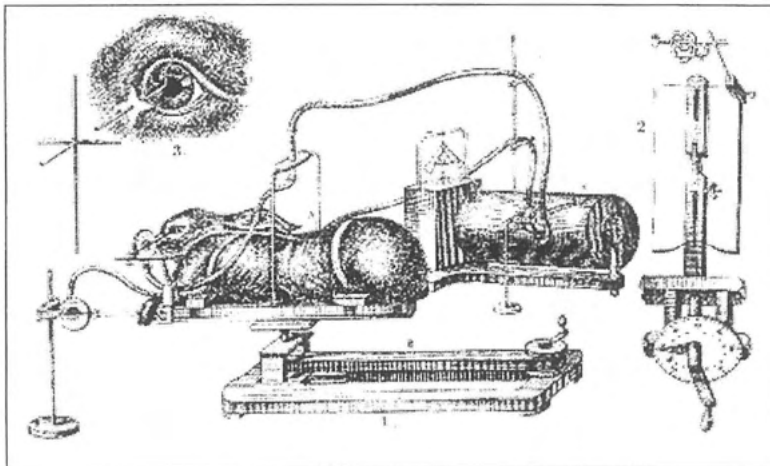


Abb. 10 Högyes' Hasendrehbank²⁰⁵

Högyes nahm zu seinen Untersuchungen auf einem sogenannten Hasenbrett fixierte Kaninchen, die er mit Hilfe von Rotationsmaschinen in der horizontalen, sagittalen und frontalen Ebene drehen konnte. Die Beobachtung der Augenbewegungen erleichterte er sich durch Einstechen einer Nadel in die Sklera, auf die er einen vierzackigen Aluminiumstern aufsteckte. Die Beobachtungsmöglichkeiten waren ihm jedoch nicht exakt genug, so daß er die Apparatur zu einer Vorrichtung zur Nystagmographie

²⁰³ Högyes (1912)

²⁰⁴ Högyes (1912) S.692

²⁰⁵ Abbildung, entnommen aus Högyes (1912) S.737

weiterentwickelte. Eine in die Sklera eingestochene Nadel übertrug ihre Bewegungen auf eine sogenannte Mareysche Trommel²⁰⁶, die ihrerseits über Kautschukschläuche mit einem rußgeschwärzten Registrierzylinder verbunden war. Über eine zweite Mareysche Trommel registrierte er die Anzahl der Drehbewegungen des Kaninchens. In Abb. 10 ist der Versuchsaufbau gezeigt.

Durch seine exakten Registriermethoden war Högyes in der Lage, folgende quantitative Aussage zu machen:

"Die Zahl der entstehenden Oscillationen und die Drehgeschwindigkeit sind verkehrt, die Größe derselben hingegen ist mit der Drehgeschwindigkeit gerade proportioniert."²⁰⁷

Högyes erkannte auch, daß sich der Nystagmus nach Drehung um 180° zur Horizontalen umkehrt. Während Högyes im ersten Abschnitt seiner Arbeit die Augenbewegungen registrierte, versuchte er im zweiten Teil "Einsicht wenigstens in jenen Teil des Nervenmechanismus zu erlangen, welcher die passiven, bilateralen Augenbewegungen dirigiert"²⁰⁸. Hierzu machte er Exstirpationsversuche, um zu bestimmen, welche Teile des Zentralnervensystems sich entfernen ließen, ohne daß die assoziierten Augenbewegungen verschwanden, und Reizversuche, um zu bestimmen, von welchen Zentren aus sich die Augenbewegungen auslösen lassen. Högyes erkannte einen Reflexbogen mit der zentripetalen Bahn, ausgehend vom Labyrinth über den Hörnerven, einem zentralen Assoziationszentrum in "jenen Gegenden, welche an der Basis des 4. Hirnventrikels und des Bodens des sylvischen Kanals zwischen der Höhe der Kerne der Gehörnerven und dem vorderen Vierhügel paar sich befinden,"²⁰⁹ und der zentrifugalen Bahn über die Augenmuskelnerven zu den Augenmuskeln.

Durch seine Reizversuche am Labyrinth wies Högyes eindeutige Beziehungen zu den Augenmuskelbewegungen nach. Er hat das Labyrinth mechanisch, chemisch und elektrisch gereizt und hatte keinen Zweifel, daß auch die Anwendung von Wärme und Kälte einen deutlichen Reiz erzeugen müßte.²¹⁰ Er sah auch die klare Beziehung zu den Experimenten Flourens', Machs und Breuers und erkannte, daß "Körperdrehung in dieser Beziehung nichts anderes bedeutet, als eine mechanische Reizung des häutigen Labyrinths"²¹¹.

²⁰⁶ Benannt nach dem französischen Physiologen Etienne Jules Marey (5.3.1830 - 13.5.1904), der diese Trommeln zur Aufzeichnung von Puls, Herzstätigkeit und Blutdruck verwandte.

²⁰⁷ Högyes (1912) S.727

²⁰⁸ Högyes (1912) S.809

²⁰⁹ Högyes (1912) S.1076

²¹⁰ Högyes (1912) S.1039

²¹¹ Högyes (1912) S. 1035

Im dritten Abschnitt seiner Arbeit untersuchte er genauer den zentrifugalen und zentralen Teil des Reflexbogens. Er wies nach, daß ständige tonische Einflüsse zu den Augenmuskeln von beiden Labyrinthen kommen. Weitergehende Untersuchungen zu der Beeinflussung der gesamten Körpermuskulatur ließen ihn folgenden Schluß ziehen: "Dass in den häutigen Bogengängen der beiden Ohrlabyrinth mit den Utriculis eine zweifache centripetale Endvorrichtung des bilateral eingerichteten, die gesammte Körpermuskulatur associierenden oder coordinierenden Nervenapparates besteht, welche je nach den Aenderungen ihrer Lage im Labyrinth die unwillkürlichen bilateralen Körperbewegungen regeln."²¹²

Högyes hat zweifellos äußerst wichtige und genaue Untersuchungen angestellt. Auch hat er als erster das seit Bárány entscheidende Symptom der Vestibularisdiagnostik, den Nystagmus, in seinem Zusammenhang mit dem Labyrinth untersucht, und zwar 25 Jahre, bevor Bárány seine klinischen Funktionsprüfungen vorstellte. Es ist auch richtig, daß er bereits die kalorische Auslösung des Nystagmus angedeutet und die Umkehrung des Nystagmus bei Drehung um 180° beschrieben hat. Dies veranlaßte Sugar, der später die Übersetzung von Högyes' Hauptwerk besorgte, 1910 auf Högyes' Verdienste hinzuweisen und einen entscheidenden Anteil an der Funktionsdiagnostik des Vestibularapparates für seinen Landsmann Högyes zu reklamieren.²¹³ Auch wenn im nachhinein der Schritt von den Tierexperimenten Högyes' zur klinischen Verwendung im Rahmen der Vestibularisdiagnostik klein zu sein scheint, muß man feststellen, daß genau diesen Schritt 25 Jahre lang keiner gegangen ist. Auf diesen allerdings entscheidenden Unterschied weist Frey in seiner Erwiderung auf Sugar hin:

"Die Untersuchungstechnik des Vestibularapparates aber, deren diagnostische Verwertung und die damit zusammenhängende Beeinflussung der Therapie [sind] neue Dinge, von denen Högyes niemals gesprochen hat."²¹⁴

²¹² Högyes (1881) S.568

²¹³ Sugar (1910)

²¹⁴ Frey, Hugo. Bemerkung zu Dr. M. Sugars Aufsatz: Labyrinth und Nystagmus. Archiv für Ohrenheilkunde (1910) 81:271

5.2 Ernst Julius Richard Ewald

Ernst Julius Richard Ewald²¹⁵ (14. 2. 1855 - 22. 7. 1921), geboren in Berlin, studierte Mathematik, Physik und Medizin in Heidelberg, Berlin, Leipzig und Straßburg. Seit dem Beginn seiner physiologischen Karriere als Assistent bei Goltz bis zu seiner Tätigkeit als Ordinarius arbeitete und forschte er in Straßburg, bis ihm diese Stadt nach dem ersten Weltkrieg verschlossen blieb. Ewalds Arbeiten lassen drei Phasen erkennen. In der ersten Phase beschäftigte er sich mit so verschiedenen Dingen wie der Hämodynamik, dem Atemdruck und der Funktion der Schilddrüse. In der zweiten Phase widmete sich Ewald vor allem der Labyrinthphysiologie.



Abb. 11 Ernst Julius Richard Ewald

Hier muß besonders sein bedeutendes Buch "Physiologische Untersuchungen über das Endorgan des Nervus octavus"²¹⁶ erwähnt werden, das 1892 veröffentlicht wurde. Bárány schätzte Ewalds Beiträge zur Labyrinthphysiologie sehr hoch ein, wenn er schrieb: "Ewald [...], der durch sein tiefgründiges Eindringen in das minutiöseste Detail die Grundlage für die spätere klinische Forschung schuf."²¹⁷ In den letzten zwanzig Jahren verlegte Ewald sein Interesse dann von der Gleichgewichtsphysiologie zur Hörphysiologie, die er durch die Ausarbeitung einer neuen Hörtheorie bereicherte, die der klassischen Helmholtzschen Resonanztheorie widersprach. Sowohl durch seine Forschungen in der Hör- als auch in der Gleichgewichtsphysiologie schuf Ewald die Voraussetzungen für weitere

²¹⁵ Biographische Angaben zu Ewald in Bethe (1922), Jongkees (1966)

²¹⁶ Ewald (1892)

²¹⁷ Bárány (1913) S.399

wissenschaftliche Arbeiten, die schließlich Bekesy und Bárány ihre Nobelpreise einbrachten.

Ewald war kein Mann, der die Öffentlichkeit suchte. Er publizierte nur zögerlich. Lange Zeit blieb ihm die wissenschaftliche Anerkennung versagt. Zwar erhielt er im Jahre 1892 "une mention très honorable" von der Pariser Universität, aber erst im Jahre 1900, also im Alter von 45 Jahren, wurde er Ordinarius in Straßburg als Nachfolger Goltz'. Eine wesentliche Stütze in den vorangegangenen schwierigen Jahren war ihm seine Frau Bettina, die Tochter des Genfer Physiologen Moritz Schiff, mit der er alle persönlichen, aber auch alle wissenschaftlichen Probleme besprach. Ewald zeichnete sich durch große handwerkliche Geschicklichkeit aus, die sich auch in seinen subtilen Versuchen an den Bogengängen zeigte. Jongkees schreibt über ihn:

"To my eyes comes the picture of a man of character, with a great inner refinement, and also a courageous man who endured what life gave him to suffer; a man who did not need great emotions from the outside, who did not traverse the surface of the earth; but a man who was an artist with great inner fields to discover, an artist with intelligence, humor, fantasy, and a sound sense of proportions. What material to form a scientist! And a man at that."²¹⁸

Seine erste Arbeit zur Labyrinthphysiologie veröffentlichte Ewald im Jahr 1887²¹⁹ bei "Pflüger"²²⁰ unter dem Titel "Zur Physiologie der Bogengänge", der er dort unter dem leicht abgewandelten Titel "Zur Physiologie des Labyrinths" bis zum Jahr 1903 insgesamt sechs weitere Arbeiten folgen ließ,²²¹ wobei natürlich auch in anderen Zeitschriften einzelne Veröffentlichungen plziert wurden. Die beiden letzten Arbeiten dieser "Schriftenreihe" beschäftigten sich übrigens mit seiner neuen Hörtheorie.

Seit der Goltzschen Arbeit diskutierte man, ob die Effekte, die sich in den Tierversuchen an den Bogengängen zeigten, nicht von der gleichzeitigen Verletzung des Kleinhirns oder von Entzündungsreaktionen herrührten, die durch die gesetzten Verletzungen eintreten würden und sich bis auf das Gehirn erstreckten. Ewald ersann nun neue, originelle und vor allem exakte Versuchstechniken, die diese Fehler weitgehend ausschlossen. Sein bevorzugtes Versuchstier war die Taube. Die Versuche und die dazu verwendeten Hilfsmittel wurden in seiner Monographie von ihm genauestens beschrieben, "in erster

²¹⁸ Jongkees (1966) S.619

²¹⁹ Ewald (1887)

²²⁰ gemeint ist das "Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere"

²²¹ Ewald (1889, 1895a, 1895b, 1896, 1899, 1903a)

Linie nicht für den Leser sondern für den Nacharbeiter".²²² Dies ging soweit, daß Ewald sogar Empfehlungen gab, wie Tauben möglichst effektiv gefüttert werden könnten.²²³

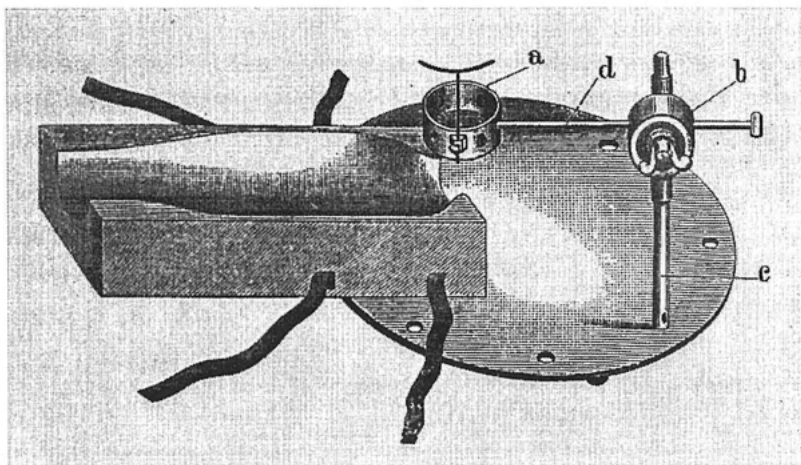


Abb. 12 Taubenhalter²²⁴

"Wenn ich annehmen darf, sicherere Resultate als meine Vorgänger erhalten zu haben, so liegt dies nur an der Anwendung geeigneter Methoden"²²⁵, schreibt er zum Schluß seines Buches. Zu den "geeigneten Methoden" gehörte auch die sorgfältige Exstirpation des Labyrinths, die es ihm ermöglichte, die Tiere noch monatelang nach der Operation zu beobachten. Breuer zeigte sich z.B. gerade dadurch stark beeindruckt: "Ewalds feine Operationstechnik macht ihm langdauernde Beobachtungen möglich, die bis dahin niemandem gelungen sind."²²⁶

Ein ganzes Kapitel seines Buches widmete Ewald der theoretischen Differenzierung der beobachteten Erscheinungen in Ausfall-, Reiz- und Ersatzercheinungen, Begriffen, die bei den Experimenten an den Bogengängen immer wieder auftauchten. Zunächst klingen diese Begriffe einfach und klar definiert. Von Ausfallerscheinungen wird gesprochen, wenn

²²² Ewald (1892) S.289

²²³ Ewald (1892) S.54

²²⁴ Abbildung, entnommen aus Ewald (1892) S.259

²²⁵ Ewald (1892) S.310

²²⁶ Breuer (1894) S.49

Veränderungen durch den Ausfall eines Organs oder eines Sinnesorgans bedingt sind. Ewald führt hier das Beispiel einer Katze an, der beide Augen exstirpiert wurden, um die Funktion der Augen zu ergründen. Als Ausfallerscheinung wäre zu werten, daß die Katze nicht nach einer Maus greift, die ihr angeboten wird, da sie diese Maus nicht sehen kann. Schwieriger sind schon die Ersatzercheinungen zu beurteilen. Von Ersatzercheinungen spricht Ewald, wenn durch ein bestimmtes Verhalten der Ausfall eines Organs kompensiert werden soll. Das würde z.B. dem Tasten entsprechen, um den Verlust der Augen zu kompensieren. Unter Reizerscheinungen würden die Schmerzreaktionen der Katze nach der Operation zu verstehen sein. Bei dem Beispiel mit der Katze sind die Ewaldschen Einteilungen ja noch ganz klar, aber vor allem deshalb, weil die Funktion des Auges bekannt ist. Es leuchtet ein, daß bei einer unbekannten Organfunktion diese Einteilung nicht so einfach ist. Dementsprechend finden sich gerade in der Bogengangsliteratur zahlreiche Publikationen, in denen nicht korrekt zwischen den einzelnen Kategorien unterschieden, oder einzelne Erscheinungen in die falschen Kategorien eingeordnet und damit falsche Schlußfolgerungen gezogen wurden. Vor diesem Hintergrund müssen die Ewaldschen Erläuterungen gesehen werden.

Zur Durchschneidung der Bogengänge verwendete Ewald eine Plombierungsmethode. Er bohrte den knöchernen Kanal an, füllte das Lumen des Bogengangs mit Amalgam vollständig aus und konnte dann den Bogengang durchtrennen, ohne daß Endolymphe ausgetreten oder der begleitende Blutsinus verletzt worden wäre. Um eine Endolymphströmung in den Bogengängen zu erzeugen, konstruierte er einen "pneumatischen Hammer", der am Kopf der Tauben befestigt werden konnte und sich durch Druck auf einen Ballon bewegen ließ. Durch Druck auf diesen Ballon wurde ein Stift von 0,35 mm Durchmesser durch ein Loch in dem knöchernen Kanal gegen den häutigen Bogengang gedrückt und

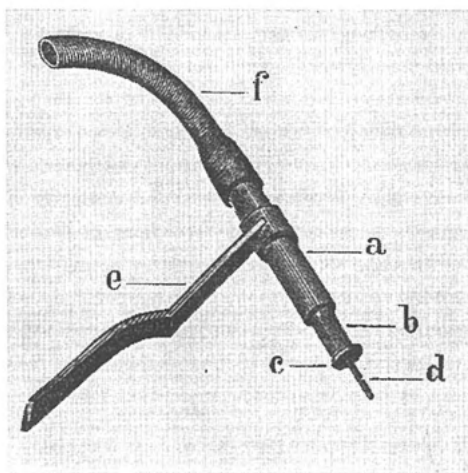


Abb. 13 Der pneumatische Hammer²²⁷

²²⁷ Abbildung, entnommen aus Ewald (1892) S.259

versetzte so die Endolympe in Bewegung. Eindeutig ließ sich durch die Bewegung der Endolympe eine Drehbewegung des Taubenkopfes hervorrufen.

Setzte Ewald den Hammer in einen plombierten Bogengang ein, so konnte er exakt die Richtung der Endolymphströmung bestimmen. Eindrucksvoll gelang es ihm nachzuweisen, daß eine Umkehrung der Endolymphströmung in einem einzelnen Bogengang die Drehrichtung des Kopfes umkehrte. Damit war die bei Mach und Breuer noch kontrovers diskutierte Frage entschieden; jede einzelne Ampulle kann beide Drehrichtungen empfinden. Auch Ewald hielt es somit für erforderlich, daß ständig nervöse Erregungen vom Ohrlabyrinth ausgingen, die je nach Drehung des Kopfes vermindert oder erhöht werden. Zunächst hatte er einen beständigen Strom der Endolympe angenommen, der für diese Erregung des Nerven verantwortlich sein sollte. Doch in seiner Monographie erklärt er diese Vorstellung aufgrund verschiedener plausibler Überlegungen für nicht haltbar. Auch die eigenen Versuche schienen ihm gegen diese Theorie zu sprechen. Denn die Einsetzung einer Plombe in einen Bogengang mußte z.B. die Endolymphströmung stoppen und damit auch "die betreffende Ampulle für immer ganz außer Funktion setzen."²²⁸ Dies war jedoch nicht der Fall. Statt dessen zog Ewald nun die Möglichkeit in Betracht, daß die Sinneshaare der Ampullen sich ständig aktiv wie ein Flimmerepithel bewegen, eine Bewegung, die je nach Rotationszustand des Kopfes gehemmt oder verstärkt wird. Diese Vorstellung konnte er zwar nicht beweisen, sie erschien ihm aber mit allen bisher bekannten experimentellen Befunden im Einklang zu stehen.

Die Vorstellung von den beständigen nervösen Erregungen durch das Labyrinth führte Ewald zur Entwicklung seines Konzepts vom "Tonuslabyrinth". Dieses Konzept entwickelte er vor allem aufgrund seiner Beobachtungen an Tauben, denen beide Labyrinthe entfernt wurden. Bei diesen Tieren registrierte er, daß "die Muskeln sämtlich eine abnorme Schlaffheit zeigen und die Gliedmaßen daher eine auffallende Beweglichkeit."²²⁹ Ebenso sprach er allgemein von einem "Mangel an Präcision"²³⁰ beim Gebrauch der quergestreiften Muskulatur. Er stellte sich vor, daß von den Bogengängen ein beständiger Einfluß auf die gesamte (quergestreifte) Muskulatur ausgehe, wobei jedes Labyrinth vorzugsweise mit der Rumpfmuskulatur und den Beugern und Adduktoren der gekreuzten Körperseite, den Streckern und Abduktoren der gleichen Körperseite zusammenhängen soll.²³¹ In einer späteren Arbeit beklagte er sich, daß dieses Konzept von vielen, auch von den Anhängern des Goltzschen Sinnesorgans, nicht berücksichtigt werde,

²²⁸ Ewald (1892) S. 298

²²⁹ Ewald (1892) S.4

²³⁰ Ewald (1892) S. 294

²³¹ Ewald (1892) S.296-297

wo es doch die eigentliche Grundlage für das Funktionieren dieses Organs darstelle.²³² Zwar gab er zu: "Das Wesen der motorischen Störung, welche nach Fortnahme der Labyrinth alle Skelettmuskeln betrifft, ist äusserst schwer zu erfassen."²³³ Aber er bemühte sich gerade aus diesem Grunde, weitere Hinweise für sein Konzept beizubringen. So beobachtete er bei einigen einseitig labyrinthlosen Tauben, daß das Eintreten der Totenstarre zu postmortalen Lageveränderungen des Kopfes oder der Extremitäten führte, die sich jeweils auf der rechten und linken Körperseite unterschiedlich entwickelten. Zwar mußte er konstatieren, daß "bei den Tauben in einzelnen Fällen der Einfluss des Tonuslabyrinths auf die Todtenstarre sehr deutlich hervortritt, in anderen Fällen weniger deutlich, in der überwiegenden Mehrzahl aber nicht nachweisbar ist," daß aber die beobachteten Phänomene, wenn sie beobachtbar waren, immer im Sinne seiner Vorstellungen vom Tonuslabyrinth interpretierbar waren.²³⁴

Somit konnte sich Ewald nicht mit seiner Vorstellung eines Tonuslabyrinths durchsetzen, aber es gibt noch andere Autoren, die zwar diesen Begriff nicht verwenden, aber ebenso von einem beständigen, allerdings mittelbaren Einfluß des Labyrinths auf die Muskulatur sprechen. Bei Cyon z.B. liest man folgendes: "Das Centralorgan des Raumsinnes regulirt die Vertheilung und das Mass der den Muskeln bei sämtlichen Bewegungen der Augäpfel, des Kopfes und des übrigen Körpers zu ertheilenden Innervationsstärke."²³⁵ Abgesehen von dem Raumsinn, auf den im folgenden noch eingegangen wird, klingen beide Vorstellungen doch recht ähnlich.

5.3 Elie von Cyon

Eine etwas schillernde Gestalt in der Physiologie des 19. Jahrhunderts und in der Erforschung des Vestibularapparates war Elie von Cyon (25.3.1842-5.11.1912). "Cyon was an individualist, spectacular and inconsistent ... a brilliant showman."²³⁶ In den Übersichten über die Vestibularisphysiologie wird er heute nur noch aus dem Grunde erwähnt, weil er der erste war, der auf die direkte Verbindung zwischen Bogengängen und okulomotorischem Apparat hinwies. Er hat sehr intensiv die Funktion der Bogengänge

²³² Ewald (1896) S. 521

²³³ Ewald (1896) S. 525

²³⁴ Ewald (1896) S. 524

²³⁵ Cyon (1888) S. 268

²³⁶ King (1956) S.355

erforscht und sehr sauber und exakt experimentiert. Schließlich entwickelte er eine eigene Theorie von den Bogengängen als einem Organ, das uns unsere Vorstellung eines dreidimensionalen Raumes vermittelt.

Cyon, geboren in Rußland, studierte in Warschau, Kiew und Berlin. Er arbeitete in Leipzig bei Ludwig (1865-1866) und in Berlin bei du Bois-Reymond (1866-1868). King resümiert: "After this his rise to fame was meteoric."²³⁷ 1870 bekam er die Goldmedaille der Pariser Akademie der Wissenschaften und wurde 1872 Professor für Anatomie und Physiologie in St. Petersburg, wo er vom Zaren stark gefördert wurde.

1877 wurde er von Claude Bernard nach Paris gerufen. Hier blieb er bis zu seinem Tod im Jahre 1912.

Cyon bearbeitete viele verschiedene physiologische Themen, unter anderem auf dem Gebiet der Zirkulations-, Respirations-, Stoffwechsel- und Nervenphysiologie. Sein großes Selbstbewußsein, um nicht zu sagen seine Arroganz, kommt zum Ausdruck in seinem Vorwort zu seinen "Gesammelten physiologischen Abhandlungen"²³⁸, in dem er sich bereits im Alter von 46 Jahren zu einer geschichtlichen Figur erklärt:

"Wenn man den vielleicht zweifelhaften, aber seltenen Genuss hat, selbst seinen wissenschaftlichen Nachlass herauszugeben, so ist man längst von jeder wissenschaftlichen Eitelkeit frei. Prioritätsansprüche locken einem kaum noch ein Lächeln ab. Früher - ich möchte fast sagen, zu meinen Lebzeiten - besass ich diesen Gleichmuth nicht. Wenn ich daher mehrere vorläufige und polemische Mittheilungen in diese Sammlung aufgenommen



Abb. 14 Elie von Cyon

²³⁷ King (1956) S.354

²³⁸ Cyon (1888)

habe, so geschah dies nur als Beweis, dass ich, wenn auch früher ein leidenschaftlicher Polemiker, doch immer gewissenhaft und überzeugt meine Autorrechte verteidigte. Es ist mir gegönnt worden, sämtliche in meinen wissenschaftlichen Untersuchungen aufgeführten Thatsachen, auch die im Beginn am heftigsten bestrittenen, ausnahmslos bestätigt zu sehen."²³⁹

Diese Sätze können wohl unkommentiert bleiben.

In dem auszugsweise zitierten Vorwort widmete Cyon übrigens den größten Teil seiner Ausführungen den Bogengängen. Seine erste Arbeit zu diesem Thema erschien im Jahre 1874²⁴⁰ und die letzte im Jahre 1908, als er während seines Krankenlagers ein Buch schrieb mit dem Titel "Das Ohrlabrynth als Organ der mathematischen Sinne für Raum und Zeit", das seine eigenen Ansichten noch einmal zusammenfaßte.²⁴¹

In seiner Arbeit aus dem Jahre 1874 beschrieb Cyon Experimente an Tauben und Fröschen. Diese Versuche waren sicherlich exakter als die Experimente von Goltz, bestätigten aber im Prinzip die Ergebnisse Flourens' und Goltz'. Cyon zog daraus folgende Schlußfolgerungen:

"Die Bogengänge tragen also nur indirect zur Unterhaltung des Gleichgewichts unseres Körpers bei, indem sie uns über die Stellungen des Kopfes im Raume unterrichten."²⁴²

"[...] 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."²⁴³

"Die Bogengänge haben zur Function durch eine Reihe unbewusster (Gehörs-?) Empfindungen das Thier von der Stellung seines Kopfes im Raume zu unterrichten, und zwar hat jeder Bogengang eine genau bestimmte Beziehung zu einer Dimension des Raumes."²⁴⁴

Die Schlußfolgerungen schienen Goltz - wie schon erwähnt - im Prinzip zu bestätigen, bis auf die auch von Cyon in Zweifel gezogenen "(Gehörs-?) Empfindungen". Dazu bemerkte schon Breuer: "Ich gestehe, dass mir, so oft ich auch diesem Gedankengang nachzugehen versuche, das plötzliche und unvermittelte Erscheinen der "Gehörsempfindungen" unverständlich bleibt. [...] Cyons Conclusion ist also eigentlich die Theorie von Goltz."²⁴⁵

²³⁹ Cyon (1888) S.V-VI

²⁴⁰ "Ueber die Function der halbcirkelförmigen Canäle." Cyon (1874)

²⁴¹ Cyon (1908)

²⁴² Cyon (1874) S.322

²⁴³ Cyon (1874) S.324

²⁴⁴ Cyon (1874) S.325

²⁴⁵ Breuer (1875b) S.148

Ebenso meinte Mach: "Überhaupt würde Cyon, wenn er für die unbewussten Schlüsse weniger eingenommen wäre, aus seinen Versuchen wahrscheinlich ähnliche Folgerungen gezogen haben wie Breuer und ich."²⁴⁶ Da die Differenzen zu Mach und Breuer in dieser ersten Arbeit nicht deutlich zu Tage traten und wahrscheinlich auch von Cyon noch nicht so gesehen wurden, wurde Cyon von vielen zeitgenössischen Kommentatoren richtigerweise mit Mach und Breuer zusammen zu den Befürwortern einer neuen Vorstellung über den Vestibularapparat gezählt.

Cyons zweite Arbeit²⁴⁷ aus dem Jahre 1876 wurde von vielen für seine bedeutendste auf dem Gebiet der Vestibularphysiologie gehalten.²⁴⁸ In dieser knappen Veröffentlichung berichtete Cyon über die Schlußfolgerungen aus neuen Versuchen an den Bogengängen, die vor allem die Beziehungen zwischen Bogengängen und Augenbewegungen beleuchteten:

- "3. Die nach diesen Verletzungen [der Bogengänge] beobachteten Bewegungen des Augapfels sind nicht durch die Verstellung des Kopfes hervorgerufene, compensatorische Bewegungen: Sie sind vielmehr die unmittelbare und directe Folge der Verletzungen der Canäle.
4. Jeder Bogengang übt in specieller Weise seinen Einfluss auf die Augapfelbewegung aus. [...]
5. Die Reizung des einen Canals bewirkt immer Bewegungen beider Augen; [...] Die Pupille contrahirt sich auf der Seite, auf welcher die Erregung stattfindet; die Pupille des anderen Auges bleibt erweitert."²⁴⁹

1877 formulierte er erstmals²⁵⁰ seine Ansichten, daß es sich bei den Bogengängen nicht um ein Organ zur Beurteilung der Bewegungsveränderung des Kopfes handelte, sondern daß die Bogengänge uns unsere Vorstellung eines dreidimensionalen Raumes vermittelten. Wir sollten also mittels der Bogengänge nicht über einen Gleichgewichtssinn verfügen, sondern über einen Raumsinn. In einer ausführlicheren Arbeit aus dem Jahr 1878 legte er seine Experimente dar und diskutierte die Forschungsergebnisse von Goltz, Mach und Purkyně.

²⁴⁶ Mach (1874a) S.124

²⁴⁷ Französisches Original: *Rapports physiologiques entre le nerf acoustique et l'appareil moteur de l'oeil. Comptes rendus de l'Acad. d. Science. (Paris) (1876) 82:856-859.* Hier zitiert nach Cyons eigener deutscher Übersetzung unter dem Titel: *Physiologische Beziehungen zwischen dem Gehörnerv und dem oculomotorischen Apparate.* In: *Gesammelte physiologische Arbeiten.* Cyon (1888) S.265-267

²⁴⁸ Z.B.Matzker (1958) S.530: "E. Cyon (1876) erwarb sich hohe Verdienste, indem er erstmals die engen Beziehungen zwischen Bogengangssystem und Augenmotorik nachwies."

²⁴⁹ Cyon (1888) S.266 Die Pupillenverengung wurde übrigens 43 Jahre später von Wodak wiederentdeckt.

²⁵⁰ Cyon schreibt selbst in Cyon (1908) S. 100: "Meine erste Darstellung der Lehre vom Raumsinn (1877)".

- "1. Die halbzirkelförmigen Canäle sind die peripherischen Organe des Raumsinnes²⁵¹ [...]
2. Mit Hülfe dieser Sensationen bildet sich in unserm Gehirn die Vorstellung eines idealen Raumes, auf den alle anderen [...] Perceptionen unserer übrigen Sinne bezogen werden.[...]
4. Die physiologische Erregung der dem Organe des Raumsinnes eigenthümlichen peripherischen Endigungen geschieht wahrscheinlich auf mechanischem Wege [...] diese Otolithen wurden in Vibration versetzt.²⁵²

"Vor allem verwarf ich (und verwerfe ich bis jetzt) die Existenz besonderer centraler oder peripherer Organe, deren ausschliessliche Function in Coordination der Bewegungen bestände.²⁵³

In diesem Werk versuchte Cyon, sich ein die Zeiten überdauerndes Denkmal zu setzen, indem er einmal die Lösung eines physiologischen Problems in erster Linie sich selbst auf die Fahne schrieb (Flourens, Weber und Vierordt ließ er ebenfalls gelten) und zum andern dieses physiologische Problem mit der philosophischen Frage nach unseren Raum- und Zeitvorstellungen nicht nur verknüpfte, sondern diese Frage besonders durch seine eigenen Arbeiten für gelöst erklärte.²⁵⁴

Sein geschichtlicher Überblick über die Entwicklung der Vestibularforschung betonte im besonderen seinen eigenen Beitrag. Nach eigenen Angaben wurde Cyon von Vulpian im Jahre 1869 auf Flourens' Versuche aufmerksam gemacht²⁵⁵. Durch seine Bemerkung, Löwenberg in Paris veranlaßt zu haben, diese Versuche zu wiederholen, reklamierte er Löwenbergs Ergebnisse quasi für sich selbst. In seiner ersten Arbeit aus dem Jahre 1874 ist von einem Zusammenhang zwischen ihm und der Löwenberg'schen Arbeit keine Rede, und auch Löwenberg selbst erwähnte Cyon in seiner Arbeit kein einziges Mal. Die Adaptation der Löwenberg'schen Arbeit war aber notwendig, um selbst als der entscheidende Entdecker der nichtakustischen Funktionen des Labyrinths zu erscheinen. Ebenso war es

²⁵¹ Interessanterweise wurde dieser Begriff auch von Mach 1865 verwendet in einer Veröffentlichung mit dem Titel "Über den Raumsinn des Ohres". Dies hatte allerdings nichts mit der Funktion der Bogengänge und schon gar nichts mit Cyons Raumsinn zu tun. Mach diskutierte die Fähigkeit des Ohres, aufgrund des Schalleindrucks, vor allem des Frequenzmusters, auf die Entfernung eines Gegenstandes oder einer Person schließen zu können.

²⁵² Französisches Original: Les organes périphériques du sens de l'espace. Comptes rendus de l'Acad. d. Science. (Paris) (1876) 85:1284-1285. Hier zitiert nach Cyons eigener deutscher Übersetzung unter dem Titel: Die peripherischen Organe des Raumsinnes. In: Gesammelte physiologische Arbeiten. Cyon (1888) S.268

²⁵³ Französisches Original: Recherches sur les fonctions des canaux semi-circulaires. Bibliothèque de l'école des hautes études. Section des Sciences naturelles. (Paris) (1878) Tomus 18. Hier zitiert nach Cyons eigener deutscher Übersetzung unter dem Titel: Experimentelle Untersuchungen über die Functionen der halbzirkelförmigen Canäle und über die ihnen bei der Bildung des Raum-Begriffs zukommende Rolle. In: Gesammelte physiologische Arbeiten. Cyon (1888) S.292

²⁵⁴ "...daß das Raum- und Zeitproblem, an welchem seit Jahrtausenden fast alle Philosophen sich ergebnislos versucht hatten, endlich durch exakte physiologische Forschung gelöst ist." Cyon (1908) S.VII

²⁵⁵ Cyon (1908) S.VII

natürlich notwendig, die Arbeit Goltz' heftig zu kritisieren, die von ihm 1874 noch mit Begriffen wie "schöne Untersuchung", "sinnreiche Modificationen des Flourens'schen Versuches" und "Scharfsinn auf die Zergliederung der beobachteten Erscheinungen" beschrieben worden war. Cyon behauptete auch, daß ihm die Goltzschen Versuche bei der Abfassung seiner Arbeit 1874 nicht bekannt gewesen seien²⁵⁶, obwohl er in eben dieser Arbeit schrieb, daß er gerade wegen der "zwei schönen Untersuchungen [...] von Goltz und Löwenberg" zu seinen eigenen Untersuchungen angeregt worden sei.

In ähnlicher Weise stellte Cyon die weitere Entwicklung als von ihm entscheidend beeinflusst dar. Die wirklich bedeutenden Forscher griff er polemisch an²⁵⁷ und legte in dieser Auseinandersetzung einen geradezu missionarischen Eifer an den Tag.²⁵⁸ Wenn man sich aber vor Augen hält, daß Cyon sich durch die Lösung des Raum- Zeitproblems als einen der bedeutendsten Forscher in einer Reihe mit den großen Philosophen der Menschheit sieht, so wird dieser Eifer verständlich.

King charakterisierte Cyons wissenschaftliche Arbeit folgendermaßen:

"Clearly Cyon [...] was a very distinguished scientist. [...] Cyon's work had flaws which become apparent on closer inspection [...]. He intended to ignore or summarily dismiss work by others, to be casual in describing important techniques, and to draw dramatic conclusions from isolated evidence ... indicative of obstinacy and pride, of a disregard for the systematic method, and of a surprisingly undeveloped critical faculty."²⁵⁹

5.4 Untersuchungen mit elektrischem Strom

Schon Purkyně experimentierte im Rahmen seiner Untersuchungen über den Schwindel mit elektrischem Strom, der damals als galvanischer Strom bezeichnet wurde. Die Anwendung von Strom diente aber nicht nur dem physiologischen Experiment, sondern wurde auch in therapeutischer Intention angewandt als Galvano- oder Elektrotherapie und zwar z.B. bei Nerven- und Muskelerkrankungen. Hierbei war das Auftreten von Schwindel bei Anwendungen im Kopf-Halsbereich als Nebenwirkung bekannt. Es existierte sogar

²⁵⁶ Cyon (1908) S.20

²⁵⁷ "Während des jahrelangen Kampfes gegen die Verwirrungen von Mach, Breuer, Goltz, Ewald u.a. ..." Cyon (1908) S.8

²⁵⁸ Ein Kapitel überschrieb er: "Der Kampf gegen die Irrlehren über die Verrichtungen der Bogengänge." Cyon (1908) S.47

²⁵⁹ King (1956) S.354-355

eine regelrechte "Elektrootiatik" zur Behandlung der "sogenannten nervösen Ohrenkrankheiten."²⁶⁰

Der Psychiater und Hirnphysiologe Eduard Hitzig unternahm 1871 eine Untersuchung und Diskussion des "galvanischen Schwindels". Bei seinen Untersuchungen leitete er den Strom jeweils quer durch den Kopf, wobei er die Elektroden bevorzugt in der Fossa mastoidea anbrachte. Natürlich beobachtete er wie seine Vorgänger das Eintreten von Schwindel und bei der Anwendung stärkerer Ströme auch ein Schwanken seiner Versuchspersonen. Erneut entdeckte er auch den schon von Purkyně beobachteten "galvanischen Nystagmus"²⁶¹, obwohl ihm anscheinend die entsprechende Veröffentlichung Purkyněs unbekannt war, und deutete "die Schwindelbewegungen [...] in ihrem optischen Theil [als] Folge der Augenbewegungen."²⁶² Seine Untersuchungen führten ihn zu der Schlußfolgerung, daß die Effekte durch einen zentralnervösen Vorgang verursacht werden mußten²⁶³, denn diese verzwickte, aber ganz regelmäßige Kombination aus Augenmuskelbewegungen und Muskelbewegungen des Kopfes und des Körpers könne durch Reizung peripherer Nerven nicht erklärt werden. Zudem mußten die Effekte symmetrisch in beiden Kopfhälften ausgelöst werden. Den konkreten Angriffspunkt des elektrischen Stroms sah er somit im Gehirn²⁶⁴, wenngleich er wußte, daß gerade in der Gehirnphysiologie noch vieles Hypothese ist.

Die damals ein Jahr alte These von Goltz über die Funktion der Bogengänge war Hitzig bereits bekannt und wurde auch kurz erwähnt, jedoch bezog er sie nicht in seine Überlegungen mit ein. Er schrieb: "Ich will nicht von dem eigenthümlichen Zusammenhang der halbzirkelförmigen Kanäle mit der Erhaltung des Gleichgewichts sprechen."²⁶⁵ Daß es sich bei dieser Zurückhaltung allerdings nicht um reine Vorsicht, sondern um eine gehörige Portion Skepsis handelte, verdeutlichte er in seiner Monographie "Untersuchungen über das Gehirn", in der 1874 verschiedene Arbeiten Hitzigs

²⁶⁰ Erb (1871) S. 2

²⁶¹ "Wenn man galvanische Ströme [...] durch den Kopf leitet, so treten unwillkürliche und unbewußte Bewegungen der Augen auf." Hitzig (1871) S. 730

²⁶² Hitzig (1871) S. 749. Breuer schreibt dazu: "Dass der Augenschwindel auf dem Nystagmus beruht, scheint Hitzig [...] selbständig wieder entdeckt zu haben." Breuer (1874b) S. 100/101

²⁶³ "Wenn die fraglichen Augenbewegungen nun weder durch die Muskeln noch durch die peripheren Nerven ausgelöst sein können, so bleibt in der That nur übrig, sie auf irgend eine Beeinflussung centraler Gebilde zu beziehen." (Hitzig (1871) S. 736)

²⁶⁴ "Auf Vermuthungen, welcher Hirntheil etwa die Summe unserer Reizeffekte auslösen könnte, gedenke ich mich um so weniger einzulassen, als ich dieser Frage auf anderem Wege bereits näher getreten bin. Vor der Hand genüge die fast zur Gewissheit erhobene Wahrscheinlichkeit, dass wir es in der That mit dem Gehirne direct zu thun haben. (Hitzig (1871) S. 767)

²⁶⁵ Hitzig (1871) S. 752

zusammengefaßt wurden und in der der Artikel aus dem Jahr 1871 unverändert abgedruckt wurde. Gerade die Arbeiten von Mach und Breuer veranlaßten Hitzig jedoch, eine Anmerkung beizufügen, in der er allerdings noch einmal ausdrücklich betonte, daß er das Gehirn direkt für die Schwindelerscheinungen verantwortlich machen wollte.²⁶⁶ Aber selbst wenn diese Interpretation falsch sein sollte, sah er in den Mach-Breuerschen Vorstellungen nur geringfügige Veränderungen seiner eigenen Auffassungen.²⁶⁷ Diese Abschnitte wurden auch noch im Jahr 1904 in der zweiten von Hitzig überarbeiteten Auflage unverändert abgedruckt, obwohl sechs Jahre zuvor für Nothnagels "Specielle Pathologie und Therapie" eine zusammenfassende Monographie Hitzigs über den Schwindel erschienen war, in der er ganz selbstverständlich den Bogengangs- und Otolithenapparat als Organ des statischen Sinns beschrieb und die zugrundeliegenden Experimente und Theorien ausführlich und wohlwollend diskutierte.

Auch andere Autoren führten Untersuchungen mit elektrischem Strom durch. Breuer versuchte 1889 vor allem die Ansicht Baginskys zu widerlegen (1881) ("Da diese aber im physiologischen Publikum einiges Ansehen genießen"²⁶⁸), der die Ursache der Schwindelerscheinungen im Kleinhirn lokalisierte. Er experimentierte wieder mit Tauben, denen er eine Elektrode auf den Bauch band. Als zweite Elektrode fungierte eine dünne Goldnadel. "Bei Benutzung des Rheostaten sieht man nun immer, dass Ströme, welche am Bogengang noch die deutlichste Reaction ergeben, am Kleinhirn vollständig wirkungslos sind."²⁶⁹ Außerdem führte er präzise Reizungen einzelner Ampullen aus und dokumentierte deren spezifische Reaktion.²⁷⁰ Nach diesen Versuchen hielt er die Einwände Baginskys und damit auch Hitzigs und anderer für endgültig widerlegt. Eine gewisse Ermüdung bei der Diskussion immer der gleichen Gegenargumente schien bei ihm eingetreten zu sein: "Ich kann aber eine Bemerkung nicht unterdrücken. Ich glaube, dass nachgerade genug Bogengänge durchschnitten worden sind. Den 105 Tauben, welche Baginsky diesen Versuchen geopfert [gemeint ist die Abhandlung von Baginsky (1881)],

²⁶⁶ "Nach meiner Auffassung, die ich übrigens vor der Hand nicht aufgeben, war das Gehirn direct verantwortlich zu machen." Hitzig (1874) S. 253

²⁶⁷ "...ich kann jene Theorie zulassen, ohne in meiner Auffassung der Erscheinungen mehr als den ursprünglichen Angriffspunkt des Reizes zu ändern. Die wahrnehmende und bewegende Kraft kommt in jedem Falle dem Gehirn zu, dass irgendeine indirecte Beeinflussung desselben an die Stelle der directen immerhin möglich sei, habe ich nie ganz ausschliessen können." Hitzig (1874) S. 255

²⁶⁸ Breuer (1889) S. 136

²⁶⁹ Breuer (1889) S. 144

²⁷⁰ "Mit diesen Versuchen ist nun das Postulat Mach's erfüllt, die einzelnen Ampullen electrisch zu reizen und dadurch ihre specifischen Reactionsbewegungen hervorzurufen." Breuer (1889) S. 149

könnten noch Hekatomben nachfolgen, ohne dass unser Wissen dadurch vermehrt würde. Diese Versuche sind ja von Flourens schon vollständig erledigt worden."²⁷¹

Auch Ewald experimentierte mit elektrischem Strom und wies nach, daß Tauben denen beidseitig das Labyrinth entfernt worden war, auch auf "relativ ungemein starke Ströme"²⁷² weder mit Kopf- noch mit Augenbewegungen reagierten. Bei einseitig labyrinthlosen Tauben hing die Reaktion von der Lage der Elektroden ab. Er schlußfolgerte, daß:

- "1) der galvanische Schwindel durch Reizung des inneren Ohres entsteht;
- 2) dass dasjenige Ohr gereizt wird, an dem sich die Kathode befindet und
- 3) dass die Reizung eines Ohres eine Kopfneigung und Spiraldrehung des Halses nach der nichtgereizten Seite bewirkt."²⁷³

Auch wenn dieses Ergebnis die klare Abhängigkeit der Schwindelerscheinungen vom Innenohr nachwies, war das gesamte Verfahren der elektrischen Reizung damals noch zu wenig verstanden. So mußte Bárány noch 1913 bezüglich der Anwendung von elektrischem Strom in der Labyrinthdiagnostik feststellen: "Klinische Bedeutung kommt aber dieser Methode nicht zu, da wir auch heute noch nicht über die Art der Wirkung des galvanischen Stromes unterrichtet sind und mannigfach widersprechende Befunde und Theorien sich gegenüberstehen."²⁷⁴

5.5 Die Funktion der Otolithen

In den Auseinandersetzungen über die nichtakustischen Funktionen des Ohres wurden vor allem die Bogengänge diskutiert als Organe zur Beurteilung des Rotationszustandes des Kopfes. Die Funktion der Otolithenorgane, also des Utrikulus und des Sacculus, blieb meist außen vor.

Mach und Breuer hatten sich jedoch schon in ihren ersten Veröffentlichungen in den Jahren 1873/74 neben ihren Thesen zur Funktion der Bogengänge auch zur Otolithenfunktion geäußert. So liest man bei Breuer:

"Wenn ich bedenke, wie wichtig für Wasserthiere die Empfindung passiver Bewegung ist, [...] dann scheint mir die Frage nahezuliegen, ob denn die

²⁷¹ Breuer (1889) S. 151-152

²⁷² Ewald (1890b) S. 754

²⁷³ Ewald (1890b) S. 754-755

²⁷⁴ Bárány (1913) S.400

grobe Perception des Otolithenstosses und damit der Bewegung des Körpers nicht die erste Leistung dieses Organes in der Thierreihe ist."²⁷⁵

"so könnten sie [die Maculae acusticae] über die Richtung der Bewegung, und bei Ruhe, aus der verschiedenen Richtung des Schwerdruckes der Otolithenmasse, selbst über die ruhige Lage des Kopfes Auskunft ertheilen. [...]muss es daher bei der Möglichkeit und der Vermuthung bewenden lassen."²⁷⁶

Mach äußert sich ähnlich:

"Die Empfindungen der drei Winkelbeschleunigungen werden wahrscheinlich durch die Ampullennerven der drei Bogengänge, die Empfindungen der Progressiv-Beschleunigungen muthmasslich durch den Sacculus vermittelt. Dass die Bogengänge Organe für die Drehempfindung seien, ist nach der ersten Mittheilung sehr wahrscheinlich. Die Ansicht, den Sacculus betreffend, hat freilich nicht den gleichen Grad der Wahrscheinlichkeit, allein der Sacculus entspricht den Forderungen, welche an ein Organ zur Empfindung der Lage und Progressivbewegung zu stellen sind noch am besten."²⁷⁷

Mach begnügte sich auch nicht mit Vermutungen, sondern versuchte gleich, den experimentellen Beweis für seine Thesen zu liefern. Für seine Experimente benutzte er zunächst eine Fallmaschine nach Art einer schiefen Ebene und danach Modifikationen seines Rotationsrahmens (s. Abb. 6, S. 42). Mach konnte in seinen Versuchen zwar konstatieren, daß man in der Lage ist, eine Progressivbeschleunigung zu empfinden, aber endgültige Resultate erhielt er nicht, so daß er nur eine vage Schlußfolgerung ziehen konnte: "Wahrscheinlich verhalten sich die Empfindungen der Winkel- und Progressivbeschleunigung durchaus analog."²⁷⁸

Das war also der Stand der Forschung im Jahre 1873/74 zu Beginn der Diskussionen über das "statische Organ". Doch noch 1891 mußte Breuer feststellen: "Während die Discussion über die Function der Bogengänge in den letzten 15 Jahren eifrig fortgeführt wurde, haben die eben citirten Aeusserungen von Mach und mir über die Leistung des Otolithenapparates kaum ein Echo erweckt."²⁷⁹ Dies veranlaßte Breuer, eine eigene Veröffentlichung nur diesem Thema zu widmen. In der Veröffentlichung legte er weniger eigene neue Experimente vor, sondern versuchte vielmehr die einzelnen bisher bekannt gewordenen Tatsachen zusammenzutragen, sie zu diskutieren und in einen Zusammenhang zu bringen. Einige dieser Hinweise sollen hier genannt werden.

²⁷⁵ Breuer (1874b) S. 116

²⁷⁶ Breuer (1874b) S. 114-115

²⁷⁷ Mach (1874a) S. 124-125

²⁷⁸ Mach (1874) S. 129

²⁷⁹ Breuer (1891) S.198

Die phylogenetische Entwicklung des sogenannten Gehörorgans bietet einen ersten Anlaß zu Spekulationen über die Funktion seiner einzelnen Bestandteile: "Der Otolithenapparate haben alle Wirbelthiere, von den Teleostiern an, mit Ausnahme der Säuger drei auf jeder Seite (macul. utriculi, sacculi, lagenae); die letzteren nur zwei, indem bei ihnen die Lagenae fehlt, auf deren Kosten sich die Gehörsschnecke entwickelt hat."²⁸⁰ Die zum Hören unzweifelhaft notwendige Schnecke hat sich also erst recht spät auf Kosten der Lagenae entwickelt. Aber natürlich kann diese Tatsache sowohl für als auch gegen die Gleichgewichtsfunktion der übrigen Teile des Innenohrs sprechen. Man kann die Schnecke nämlich sowohl als Perfektionierung eines bereits existierenden Gehörorgans ansehen als auch als funktionelle Weiterentwicklung eines existierenden Gleichgewichtsorgans. Letztlich kann also die Betrachtung der phylogenetischen Entwicklung die hier gestellte Frage nicht beantworten.

Einen experimentellen Hinweis auf die Funktion des Otolithenorgans sah Breuer in der "Raddrehung der Augen". Es sei bekannt, daß der Bulbus eine Rotation durchführt, wenn der Kopf nach rechts oder links geneigt wird. Die Größe des Rotationswinkels hänge nun allein von der Einstellung des Kopfes gegen die Vertikale ab. Dies ließe auf ein Organ im Kopf schließen, daß die Lage des Kopfes relativ zur Vertikalen einschätzen kann.²⁸¹ Ein weiterer Hinweis könnte in dem Verhalten von Fröschen nach Labyrinthexstirpation liegen. Diese Frösche verlieren das Bestreben, sich in einem Wasserbassin in die normale Bauchlage zu bringen und liegen häufig auf dem Rücken, was man bei normalen Fröschen nie findet. Breuer folgerte somit, "dass sie durch Zerstörung des Labyrinths die Empfindung für die Lage ihres Körpers verloren haben."²⁸² Da die Bogengänge Bewegungen empfinden, könnte diese Lageempfindung eine Leistung der Otolithenorgane sein.

Auch wenn die Breuersche Arbeit einen erfreulichen Versuch darstellt, mehr Licht in die Funktion der Otolithenorgane zu bringen, so muß man doch insgesamt feststellen, daß die Ausführungen sich weniger auf exakte naturwissenschaftliche Experimente stützten, sondern immer noch mehr den Charakter von Annahmen hatten, wenn auch von plausiblen und gut begründeten.

Außer mit der Funktion der Bogengänge beschäftigte sich auch der französische Physiologe Yves Delage mit der Funktion der Otolithenorgane. Seine Arbeit "Études expérimentales sur les illusions statiques et dynamiques de direction [...]" wurde von dem Rostocker Physiologen Hermann Aubert für so bedeutend gehalten, daß er das französische

²⁸⁰ Breuer (1891) S. 218

²⁸¹ Breuer (1891) S. 206

²⁸² Breuer (1891) S. 238

Original ins Deutsche übertrug.²⁸³ Breuer beurteilte die Arbeit Delages wesentlich kritischer, indem er bemerkte: "Einen Theil der Ausführungen Delage's kann ich nur für ein reines Missverständnis halten."²⁸⁴

Delage versuchte, die vielen Sinnesempfindungen, wie Bewegungsempfindungen, Lageempfindungen, Raumempfindungen und Orientierungsempfindungen, die alle schon dem Innenohr zugeschrieben wurden, zu ordnen und systematisch abzuklären, welche dieser Leistungen welchem Organ zuzuordnen seien. Er ging dabei methodisch so vor, daß er bei seinen Probanden und auch bei sich selbst Sinnestäuschungen auslöste. "Man kann also von den Sinnestäuschungen, welche experimentell unter bekannten Bedingungen hervorgerufen worden sind, Belehrungen verlangen über die normalen Empfindungen, über ihren Sitz und die Art und Weise ihres Zustandekommens."²⁸⁵

In dem Kapitel "Dynamische Empfindungen und Täuschungen bei Fortbewegung" diskutierte er die Sinnesempfindungen bei Eisenbahnfahrten und die Empfindungen in einem Boot, das durch eine gespannte elastische Schnur bewegt wurde. Diese Untersuchungen befriedigten ihn jedoch nicht. Daraufhin experimentierte er mit einer Art Schaukel, die so konstruiert war, daß der Proband in einem geschlossenen Kasten untergebracht war, der sich ohne Drehbewegung nur parallel zur Horizontalen bewegen konnte. Er wies hiermit nach, daß auch die Progressivbewegungen wahrgenommen werden, wobei diese Wahrnehmung völlig unabhängig von der Kopfstellung ist. Somit schlußfolgerte er: "Die Empfindungen, welche durch die Fortbewegung hervorgebracht werden, haben ihren besonderen Sitz nicht im Kopfe, und folglich weder im Utrikulus noch in irgend einem anderen Teil des häutigen Ohrlabyrinthes. [...] Die Empfindungen der Fortbewegung sind wahrscheinlich allgemeine, hervorgebracht durch einen Druck der Flüssigkeit des Organismus gegen die Gefäße und die Wandungen ihrer Behälter, durch einen Zug der verschiedenen Eingeweide an ihren Anhaftungsstellen und an ihren eigenen Teilen, und vielleicht durch eine Wirkung auf die benachbarten Organe, wie z.B. die Plexus; mit einem Worte, durch eine Art von Ebbe- und Flutbewegung aller Teile unseres

²⁸³ Aubert (1888)

²⁸⁴ Breuer (1891) S. 284

²⁸⁵ Aubert (1888) S.111

Er faßt zusammen, "dass unsere statischen Empfindungen von den Richtungen im Raume uns durch das Auge und nicht durch die halbzirkelförmigen Kanäle überliefert werden. [...] Suchen wir nun das Organ zu finden, welches uns über die Orientierung unseres Körpers belehrt. [...] Die entsprechenden Empfindungen sind also wahrscheinlich Tastempfindungen und sicher unabhängig von den halbzirkelförmigen Kanälen und dem Augenbewegungsapparate. Es sind wirklich nur die halbzirkelförmigen Kanäle, welche durch ihre anatomische Struktur ebensogut von den Täuschungen, wie von den normalen Erscheinungen, Rechenschaft geben können. [Bei der Empfindung der Drehbewegung]." (Aubert (1888) S.112-113)

Organismus, welche einige Beweglichkeit haben."²⁸⁶ Diese Aussage erinnert doch stark an Purkyněs Erklärung des Unwohlseins bei den Schwindelerscheinungen, wie überhaupt die Arbeit Delages von der experimentellen Methodik her einige Ähnlichkeit mit dem Vorgehen Purkyněs aufweist. Dem trug auch Aubert Rechnung, indem er zwei Veröffentlichungen Purkyněs als Anhang der Übersetzung der Arbeit von Delage beifügte.

Speziell bei seinen Ausführungen über die Empfindung der Progressivbewegung glaubte jedoch auch Delage, sich sehr vorsichtig äußern zu müssen, "denn eine verschwommene Empfindung, deren Sitz überall und nirgends ist, scheint sich dem Versuchsverfahren zu entziehen."²⁸⁷ Die Delagesche Arbeit steht somit in der Reihe derer, die zwar versuchen, die Otolithenorgane zu erklären, aber letztlich zu keinen gesicherten Aussagen kommen.

Ewald ging in seiner Monographie ebenfalls auf die Funktion der Otolithen ein. Er führte allerdings keine Experimente zu diesem Thema durch, sondern diskutierte die möglichen Funktionen der Otolithenorgane rein theoretisch in seinen Schlußbemerkungen. Die Breuersche Vorstellung von der Funktion der Otolithenorgane hielt er für "eine glückliche Idee, die sich auch gewiss bestätigen wird."²⁸⁸ Darüberhinaus schrieb er den Otolithenorganen eine besondere Funktion im Rahmen seiner Vorstellungen eines "Tonuslabyrinths" zu. Die Otolithenorgane sollten die Aufgabe haben, die Tätigkeit der Tonushaare bei allen Bewegungen und Erschütterungen des Kopfes zu verstärken.

Nagel, eine renommierter Sinnesphysiologe und Herausgeber der "Zeitschrift für die Physiologie der Sinnesorgane", brachte eine völlig neue Hypothese: "Vorübergehende kompensatorische Bewegungen des Kopfes und der Augen könnten von den Ampullen der Bogengänge ausgelöst sein, bei den dauernd eingenommenen kompensatorischen Stellungen wird man eher an den Otolithenapparat denken."²⁸⁹ Diese These stellte Nagel im Jahre 1896 auf und dokumentierte damit ein weiteres Mal, wie unsicher man in der Beurteilung der Funktion des Otolitheapparates noch immer war.

Insgesamt ist man bei der Erforschung der Otolithenfunktion also über mehr oder minder begründete Analogiebestimmungen zur Bogengangsfunktion nicht hinausgekommen. Bárány lehnte es somit folgerichtig ab, die Otolithenfunktion in seine klinische Vestibularisprüfung aufzunehmen. "Da über die Funktionen des Utriculus und Sacculus beim Menschen nur Hypothesen bestehen, die einen klinischen Wert nicht beanspruchen,

²⁸⁶ Aubert (1888) S. 94-95

²⁸⁷ Aubert (1888) S. 95

²⁸⁸ Ewald (1892) S. 306

²⁸⁹ Nagel (1896) S. 350

so werde ich mich mit deren Anatomie und Physiologie nicht befassen."²⁹⁰ Gemeinsam mit seinem otologischen Kollegen Alexander hatte er drei Jahre vorher, also 1904, versucht, "durch vergleichende Untersuchung Normaler und solcher Taubstummer, bei denen die genaue funktionelle Prüfung insbesondere der galvanischen Reaktion und der Gegenrollung eine Zerstörung des statischen Organs zweifellos erscheinen ließ [...] zur Lösung der Frage, 'welche Rolle spielt das statische Organ bei der Orientierung im Raum', beizutragen".²⁹¹ Hierzu versuchten die beiden Wissenschaftler unter bewußt künstlich hergestellten Bedingungen Unterschiede zwischen Gehörlosen und Normalhörenden zu finden, indem die Probanden im dunklen Raum bei geneigtem Körper oder Kopf Leuchtlinien beurteilen oder die Richtung von auf die Stirn gezeichneten Strichen angeben sollten. Diese Unterschiede ließen sich jedoch nicht nachweisen, und so folgerten sie: "Wir haben nun nachgewiesen, daß die Erregungen des Statolithenapparates unter den außergewöhnlichen Umständen unserer Versuchsanordnung und um so mehr im Alltagsleben nicht vorstellungsbildend wirken."²⁹² Damit wollten Alexander und Bárány allerdings nicht ausgeschlossen wissen, daß der Otolithenapparat überhaupt zur Orientierung dienen kann. Es schien ihnen nur äußerst schwierig, seine Funktion zuverlässig zu bestimmen.²⁹³

²⁹⁰ Bárány (1907c) S. 1

²⁹¹ Alexander (1904) S. 323

²⁹² Alexander (1904) S. 456

²⁹³ "...so haben wir damit keineswegs geleugnet, daß diese Erregungen [des Statolithenapparates] überhaupt vorstellungsbildend wirken. [...] Es wäre möglich, daß dort, wo alle anderen Empfindungen über die Orientierung unseres Kopfes und Körpers schweigen müssen, also in einer auf das Gewicht des menschlichen Körpers abgestimmten Salzlösung, der Statolithenapparat wenigstens eine grobe Orientierung über oben und unten ermöglicht." Alexander (1904) S. 456

6. Bogengänge und Hören

Bevor Goltz seine Hypothese über die Existenz eines zweiten Sinnesorganes im Ohr äußerte, hielt man die Bogengänge mit den Ampullen für Bestandteile des Hörorgans, deren physiologische Bedeutung zwar noch nicht erwiesen, deren anatomische Verknüpfung mit der fürs Hören unzweifelhaft notwendigen Cochlea aber ebenfalls eine Hörfunktion nahelegte. Aus diesem Grunde spielt die Entwicklung der Physiologie des Hörens auch eine wichtige Rolle für die Anerkennung des Vestibularisapparates als Gleichgewichtsorgan.

6.1 Geräuschperzeption durch die Bogengänge

Einen bedeutenden Schritt in der Theorie des Hörens stellte das Werk Helmholtz' "Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik" dar, welches in seiner ersten Auflage 1863 erschien. Hierin übertrug Helmholtz die Ohmsche Theorie auf die Cochlea. Die Ohmsche Theorie besagt, daß sich jeder Ton nach einer Fourier-Analyse aus sinusförmigen Grundschrwingungen unterschiedlicher Tonhöhe zusammensetzen läßt. Helmholtz sah in der Membrana basilaris der Schnecke den abgestimmten Teil des Gehörorgans, der die Klanganalyse durch Resonanz durchführte. Jede Faser des Hörnervs werde durch eine andere Tonhöhe erregt.

Helmholtz glaubte zunächst, daß in der Schnecke die Perzeption der Töne stattfinden würde und verlegte den Ort der Geräuschempfindung in die Ampullen der Bogengänge. Diese von ihm zunächst als Hypothese verstandene Auffassung war kein essentieller Teil seiner Hörtheorie. Er vertrat sie nicht aufgrund exakter experimenteller Fakten, sondern aufgrund plausibel erscheinender Überlegungen. Er schreibt:

"Es hat wohl eine wichtige Bedeutung für das Gehör, dass wir so verschiedenartige Endapparate an den Nerven finden. Elastische Gebilde mit starker Dämpfung werden durch vorübergehende Stöße und Strömungen des Labyrinthwassers verhältnismäßig stärker afficirt werden als durch musikalische Töne. Sie werden also namentlich der Wahrnehmung schnell vorübergehender unregelmässiger Erschütterungen, also der Empfindung der Geräusche dienen können. Dagegen werden

schwächer gedämpfte elastische Körper durch einen musikalischen Ton von entsprechender Höhe viel stärker erregt werden, als von einzelnen Stößen. Unser Ohr ist beider Leistungen fähig und wir dürfen wohl vermuthen, dass dies auf der Existenz der verschiedenartigen Endorgane beruht, dass also die Nerven ausbreitungen im Vorhof und den Ampullen für die Wahrnehmung der Geräusche, die Cortischen Fasern für die der musikalischen Töne dienen."²⁹⁴

Dieser Absatz wurde deswegen so vollständig zitiert, weil er ein entscheidendes Argument der Gegner der Goltzschen Hypothese zusammenfaßt. Der qualitative Unterschied zwischen Geräusch und Ton hat seine physikalische Analogie in dem Unterschied zwischen einer periodischen und einer nichtperiodischen Schwingung, die auch mathematisch in der Fourier-Analyse unterschiedlich gehandhabt wird. Die Annahme unterschiedlicher Perzeptionsapparate hat also quasi eine physikalisch-mathematische Rechtfertigung. Helmholtz war jedoch in der Lage, diese Auffassung im Lichte neuer Erkenntnisse zu verlassen. Auf der Innsbrucker Naturforscherversammlung sah er die Goltzschen Tauben, für die er sich sehr interessierte.²⁹⁵ In der 1877 erschienenen 4. Auflage seiner "Tonempfindungen" distanzierte er sich dann ganz klar von seiner früheren Auffassung bezüglich der Funktion der Ampullen und Bogengänge:

"[...] so ist es durch die Untersuchungen von Goltz äusserst wahrscheinlich geworden, dass sie [die Härchen in den Ampullen], so wie die Bogengänge, einer ganz anderen Art von Sinnesempfindung dienen, nämlich der Wahrnehmung der drehenden Bewegungen des Kopfes."²⁹⁶

Es ist anzunehmen, daß Helmholtz auch weiter die Diskussion über den Gleichgewichtssinn mit Interesse verfolgt hat, jedoch ist von ihm keine weitere Stellungnahme zu diesem Thema bekannt. Vielleicht spielt hier der Wechsel des Arbeitsgebiets von Helmholtz eine Rolle, denn vom Jahre 1871 an war er in Berlin als Professor für Physik tätig.

In seiner "Physiologischen Optik"²⁹⁷ machte Helmholtz übrigens einige seltsam anmutende Bemerkungen über den "Gesichtsschwindel". Die Scheinbewegung der Umgebung nach Drehung mit geschlossenen Augen soll nur dann auftreten, wenn man die Augen öffnet, bevor man "wirklich bis zum festen Stehen gekommen ist." Während Hitzig die Autorität Helmholtz' zu folgendem Kommentar veranlaßte: "Die angeführten Facta sind als von

²⁹⁴ Helmholtz, Hermann von. Die Lehre von den Tonempfindungen [...]. 2.Aufl. S.218, hier zitiert nach Exner (1876)

²⁹⁵ "...da sich Helmholtz auf der Innsbrucker Naturforscherversammlung ausserordentlich für die Goltzschen Tauben mit zerstörten Bogengängen interessirt und ihm [Goltz] seine Anerkennung über diese Versuche ausgesprochen hatte." Ewald (1903) S. 9

²⁹⁶ Helmholtz (1877) S.249

²⁹⁷ Helmholtz (1867)

Helmholtz herrührend selbstverständlich unbestreitbar"²⁹⁸, äußerte sich Breuer vorsichtig kritisch, "dass diese Angabe zwar sicherlich individuell richtig, aber eben auch ganz individuell sei."²⁹⁹ Ebenso findet sich in der "Physiologischen Optik" von Helmholtz eine Passage über die Drehrichtung beim Drehschwindel, die falsch ist: "...bei dem Drehschwindel,[...] so wie man anhält, [...] scheinen sich die Objecte noch eine Zeitlang in der Richtung fortzubewegen, in der man sich gedreht hat."³⁰⁰ Ebenfalls traute sich Breuer nicht, deutlich zu sagen, daß Helmholtz ganz offensichtlich falsche Angaben gemacht hat, sondern kommentierte nur milde: "Es muß sich also um ein ganz exceptionelles Verhalten des berühmten Forschers handeln."³⁰¹ Auch in der zweiten, umgearbeiteten Auflage der "Physiologischen Optik" von 1896 übernahm Helmholtz den gerade besprochenen Absatz wörtlich.

Der Berliner Physiologe Exner nahm nun die Vorstellung eines geräuschempfindenden Apparates in den Bogengängen auf und versuchte, die Frage näher zu klären, ob es "Gehörsempfindungen giebt, welche so beschaffen sind, dass sie nicht durch die Schnecke vermittelt sein können."³⁰² Seine Experimente führten ihn zu dem Ergebnis, daß auch bei der Geräuschperzeption eine Tonhöhe empfunden wird. Somit sah er zwei fundamentale Schwierigkeiten für die Vorstellung eines separaten geräuschempfindenden Organs:

"Der Annahme eines geräuschempfindenden Apparates, wie man ihn sich bisher gedacht hat, stellen sich also zwei Schwierigkeiten entgegen. Erstens müsste uns durch denselben auch die Empfindung der Tonhöhe vermittelt werden, zweitens ist wenigstens vorläufig nicht abzusehen, wie er eingerichtet sein müsste, damit er durch die musikalischen Töne nicht mit in Erregung versetzt wird."³⁰³

Das zweite Argument kehrt die Diskussion quasi um. Aus der Tatsache, daß wir einen reinen Ton hören, ohne die Empfindung eines Geräusches zusätzlich zu haben, schloß Exner, daß wohl nur ein Sinnesorgan sowohl für die Geräusch- als auch die Tonempfindung verantwortlich sein kann. Für einige Physiologen war damit die Frage nach der Geräuschempfindung geklärt. Auch Brücke z.B. bestätigte Exners Ansichten und folgerte: "[So] müssen wir sagen, daß wir der Annahme, es seien für das Hören von Geräuschen eigene Nerven vorhanden, nicht bedürfen."³⁰⁴ Einige Physiologen wollten jedoch immer noch nicht Abstand nehmen von der von Helmholtz nur als plausible

²⁹⁸ Hitzig (1871) S. 769

²⁹⁹ Breuer (1874a) S. 101

³⁰⁰ Helmholtz (1867) S. 603

³⁰¹ Breuer (1874a) S. 101

³⁰² Exner (1876) S. 230

³⁰³ Exner (1876) S.242-243

³⁰⁴ Brücke (1884) S. 224

Einteilung geäußerten Theorie über die verschiedenen Tonqualitäten und den Ort ihrer Rezeption. Ein entschiedener Vertreter dieser Gruppe von Wissenschaftlern war Victor Hensen.

6.2 Victor Hensen

Der Kieler Physiologe Victor Hensen (10.2.1835-5.4.1924) war ein bedeutender Gegner der Theorie von den nichtakustischen Funktionen des Ohres.³⁰⁵ Hensen, der heute hauptsächlich als Meeresbiologe bekannt ist und z.B. das Wort Plankton prägte, hat auch wichtige Beiträge zur Anatomie und Physiologie des Hörorgans geliefert. So schreibt Retzius in seinem Werk "Das Gehörorgan der Wirbeltiere": "Vor allem aber durch Hensen's scharfsinnige Arbeiten ist der Bau des Cortischen Organes wohl in seinen wesentlichen Theilen erkannt worden."³⁰⁶ Noch heute erinnern die Hensen-Zellen und Hensen-Körper an die otologisch-anatomischen Beiträge des Kieler Physiologen. Sein Interesse für die Ohrenheilkunde und die Reputation, die er auf diesem Gebiet genoß, kann man auch daran ersehen, daß er ab 1873 in den ständigen Mitarbeiterstab des "Archivs für Ohrenheilkunde" aufgenommen wurde (übrigens ebenso wie Mach).

Die Auseinandersetzung mit der Anatomie führte Hensen auch zur Beschäftigung mit der Physiologie des Innenohres. Bereits im Erscheinungsjahr 1863 der Helmholtzschen "Lehre von den Tonempfindungen" hat er die Radiärfasern der Membrana basilaris als mögliche Resonatoren diskutiert.³⁰⁷ Im Jahre 1869 erschien eine von ihm betreute Dissertation "Experimentelle Studien zur Physiologie des Gehörorgans", die sich insbesondere auch mit Helmholtz auseinandersetzte. Für die vorliegende Arbeit ist seine Vorstellung von den Funktionen der einzelnen Teile des Labyrinths von Interesse:

"[...] dass bei Krebsen [...] die Hörhaare [...] in ihren Dimensionen regelmässige Abnahme zeigen, in der Art, dass sie etwa wie die Pfeifen einer Orgel nebeneinander stehen. Dies beweist mir überzeugend, dass die Eigenschaft, den Klang zu zerlegen, sowohl dem Otolithenapparat, als auch den freistehenden Härchen, die ich mit den Härchen der Ampullen vergleichen möchte, zukommt, woraus zu schliessen wäre, dass diese Eigenschaft auch in unserem Ohr jenen beiden, wahrscheinlicher allen drei Apparaten zukomme."³⁰⁸

³⁰⁵ Eine Bio-Ergographie schrieb Porep (1970)

³⁰⁶ Retzius (1881/84) 2. Band S. V-VI

³⁰⁷ Hensen (1863b) S. 507

³⁰⁸ Schmiedekam (1868) S. 40

Hensen galt nach Helmholtz als so große Kapazität auf dem Gebiet der Hörphysiologie, daß er darum gebeten wurde, das Kapitel "Physiologie des Gehörs"³⁰⁹ für Hermanns "Handbuch der Physiologie" zu verfassen. Diesem Kapitel fügte er einen eigenen Anhang "Experimente an den halbcirkelförmigen Kanälen" bei, in dem er die einschlägigen Versuche und entsprechenden Autoren benannte und beschrieb. Trotzdem hielt er an seiner Auffassung fest, daß die beobachteten Erscheinungen eher auf Hirnverletzungen zurückzuführen seien.³¹⁰

Noch 1900 ist schon die Erwähnung des Namens "Hensen" ausreichend, dessen Kritik als bedeutenden Einwand gegen die Theorie des Gleichgewichtsorgans gelten zu lassen: "Namentlich hat sie [die Lehre vom statischen Sinn] von Seiten einer so gewichtigen Autorität wie Hensen ernste Kritik erfahren"³¹¹, obwohl er wirklich gewichtige Argumente oder eigene Experimente nicht vorbringt. Es ist wohl eher so, daß er die Notwendigkeit eines solchen Organs einfach nicht anerkennen wollte. Am 12. Juni 1893 hielt er im physiologischen Verein zu Kiel einen "Vortrag gegen den sechsten Sinn".³¹² Nachdem er die Arbeiten seiner Kollegen, vor allem Ewalds, referiert hatte, argumentierte er nicht mehr, sondern polemisierte nur noch gegen die Ansichten seiner Kollegen. Die Arbeit Hensens ist zwar amüsant zu lesen, aber in wissenschaftlicher Hinsicht trägt sie nicht sehr weit. Hensens Hauptargument ist, daß "ein Sinnesorgan, das erst -alle Hochachtung meinen Kollegen- von Physiologen im Menschen entdeckt worden ist, wohl apokryph sein muss."

Vor allem von den Gleichgewichtsforschern wurden Hensens Ansichten über die Funktionen des Vestibularapparats nicht mehr ernst genommen. Matte rezensierte einen Artikel Hensens lapidar: "Der Vorkämpfer der Gegner der statischen Funktion des Ohrlabyrinths unter den Physiologen wandelt wieder einmal auf dem Kriegspfade".³¹³ Fast tragisch erscheint somit die Konfrontation Hensens mit seinen eigenen Worten aus den wichtigen anatomischen Arbeiten des Jahres 1863. Dort schrieb er über einen Kollegen: "Rosenthal - der das Gehörorgan der Krebse zuerst beschrieb - schloss auf ein Geruchsorgan, weil Nerv und Cochlea vorhanden seien ! Heute sehen wir ganz verwundert, wie locker diese Schlußfolgerungen waren; hinter welchen falschen Analogien mögen sich unsere Trugschlüsse wohl bergen ?"³¹⁴

³⁰⁹ Hensen (1880)

³¹⁰ "Die Grundlage für diese Annahme [die Goltzsche Hypothese] hat sich als nicht haltbar erwiesen, denn die Verdrehung des Kopfes der Tauben ist als Hirnerscheinung anerkannt." Hensen (1880) S.140

³¹¹ Asher in Blau (1900) S. 208

³¹² Hensen (1893)

³¹³ Rezension von Matte von Hensen (1899) im Archiv für Ohrenheilkunde (1896) 46:296

³¹⁴ Hensen (1863a) S. 322

Noch im Jahre 1907 konnte er sich nicht von seinen Vorstellungen des "Geräuschehörens" lösen. Es erschien sogar noch eine experimentelle Arbeit, in der er die seiner Meinung nach physiologisch verschieden wirkenden Schallqualitäten des Tones, des Knalles und des Geräuschs auf die Schnecke, den Otolithenapparat und die Bogengänge verteilte und für diese Untersuchung die Konstruktion einer sogenannten "Schlitzsirene" beschrieb. Das Wort Gleichgewichtsorgan oder statischer Sinn erwähnte er jedoch mit keiner Silbe.

6.3 Ungewöhnliche Theorien zum Innenohr

6.3.1 Richtungshören durch die Bogengänge

Neben der Theorie der Geräuschempfindung existierten auch noch andere Hypothesen über die Funktion der Bogengänge. Malinin z.B. führte 1866 Versuche an halbkreisförmig gebogenen Glasröhren durch und beobachtete Schallauslöschung in diesen Kanälen. Dies veranlaßte ihn zu folgendem Schluß:

"Hieraus ergibt sich, dass die Bestimmung der häutigen Bogengänge in der Aufnahme derjenigen Schallwellen besteht, welche bereits auf die Nervenendigungen in den Säckchen und Ampullen eingewirkt und weiter keine Bestimmung haben; weshalb sie ihrer Function nach so zu sagen gleichartig mit dem dunklen Pigment im Auge sind."³¹⁵

Andere Autoren berücksichtigten die auffällige Anordnung der Bogengänge in drei verschiedenen, annähernd senkrecht zueinander stehenden Raumebenen. So sollten die Bogengänge nach Preyer die Richtung bestimmen, aus der eine Schallquelle gehört wird. In einer Veröffentlichung aus dem Jahre 1884 stellte er Versuche zur Lokalisation der Schallrichtung vor. Er bot menschlichen Probanden Töne aus 26 verschiedenen Richtungen nach Art eines "regulären enteckten und entkanteten Oktaeders"³¹⁶ an und ließ die Richtung schätzen, aus der der Schall gekommen war. Das Ergebnis war, wenn auch stark fehlerbehaftet, doch deutlich signifikant richtiger im Vergleich zu einer Zufallsschätzung. "Es muss also im Gehörorgan eine Einrichtung bestehen, welche die

³¹⁵ Malinin (1866) S. 675

³¹⁶ Preyer (1884) S. 590

auffallenden Differenzen verursacht. [...] So erscheint die Vermuthung gerechtfertigt, dass es die Bogengänge seien, welche mittels Kopfleitung diese Leistung ermöglichen."³¹⁷

Ein Student von Preyer führte diese Versuche in seiner Doktorarbeit weiter aus, indem er in Variation zu der Preyerschen Arbeit mit Probanden experimentierte, deren Ohren einseitig geschlossen waren. Die Ergebnisse seiner Versuche an 12 Studenten schienen für Arnheim so überzeugende Beweise der Preyerschen Theorie darzustellen, daß er sich über die "Spätzünder" unter den Physiologen nur wundern konnte: "Es erscheint merkwürdig, dass diese Funktion der Bogengänge im Gegensatz zu allen übrigen Theilen unseres Hörapparates so spät erkannt wurde, und man kann sich diese Thatsache nur dadurch erklären, dass man irriger Weise lange Zeit die Bogengänge mit dem Gleichgewichtssinn in Zusammenhang brachte."³¹⁸ Seltsam klingt auch sein Hinweis auf den unterschiedlich starken Haarwuchs als Ursache für die hohe Fehlerquote bei der Richtungsschätzung.³¹⁹

Von ähnlichem wissenschaftlichen Gehalt ist eine Arbeit Brückners, die als ein Beispiel dienen kann für die Art vieler Arbeiten, die sich mit der Funktion der Bogengänge beschäftigten. Es ist keine wissenschaftliche Arbeit im eigentlichen Sinne, sondern ein Aufsatz, der die Ansicht des Autors plausibel erscheinen lassen möchte. Brückner sieht die Bogengänge fast selbstverständlich als Teile des Gehörs an, die zur Geräuschperzeption befähigt sind. Die räumliche Anordnung der Bogengänge erklärt er sich folgendermaßen: Jeweils derjenige Bogengang soll am besten hören, der horizontal liegt. Er schreibt: "Aus dem bisher Gesagten ergibt sich, dass von den drei Bogengängen in ihrer bestehenden Combination zum Hören leiser Geräusche immer ein horizontal liegender Bogengang für jede der verschiedenen Hauptstellungen des Kopfes nothwendig ist."³²⁰

6.3.2 Die direkte Erregbarkeit des Nervus acusticus durch Schall

Neben seinen wissenschaftlich sehr fruchtbaren Untersuchungen trug Ewald auch eine neue, rückblickend eher abwegige Vorstellung zur Physiologie des Gehörorgans bei. Er meinte nachgewiesen zu haben, daß eine Taube auch nach Entfernung des gesamten Innenohrs hören kann, was er sich nur dadurch zu erklären wußte, daß der Nervus

³¹⁷ Preyer (1884) S. 609

³¹⁸ Arnheim (1887) S. 2

³¹⁹ "Unter den verschiedenen Ursachen, welche die richtige Beurtheilung bei einzelnen Personen beeinflussen, dürfte übrigens ein mehr oder minder starker Haarwuchs eine der ersten Stellen einnehmen." Arnheim (1887) S. 9

³²⁰ Brückner (1888) S. 300

acusticus direkt durch Schall erregbar sein mußte. Er glaubte somit neben den bisher bekannten Möglichkeiten einen Nerven elektrisch, mechanisch oder chemisch zu reizen, einen weiteren Reiz, nämlich den akustischen, entdeckt zu haben. Diese Erkenntnis war ihm so wichtig, daß er sie neben der Vorstellung von einem Tonuslabyrinth als zweites Ergebnis seiner Untersuchungen bereits im Vorwort seines Buches "Nervus octavus" erwähnte.³²¹ Zudem widmete er diesem Thema eine eigene Veröffentlichung.³²²

Von Stein wies darauf hin, daß Ewald mit dieser Ansicht die frühen Autoren wie Haller und Johannes Müller bestätigte. Haller sagte nämlich: "Folglich könnte das Gehör stattfinden, wenn ein Nerv in der Gehörmachine da ist, welcher von einem mitbebenden Knochen berührt wird."³²³ Ähnlich äußerte sich auch Johannes Müller: "Da aber alle Materien die Schallschwingungen als Verdichtungswellen leiten, so sieht man leicht, dass ein besonderer Leitungsapparat auch fehlen könne."³²⁴ Und zudem: "Zum Hören an und für sich sind also weder Trommelfell noch Gehörknöchelchen, noch Schnecke, noch halbcirkelförmige Canäle, noch selbst Vestibulum und Labyrinthwasser nötig. Daher alle diese Teile auch fehlen können."³²⁵ Von Stein selbst stand jedoch dieser Aussage sehr ablehnend gegenüber: "Wenn wir einen solchen Weg weiter verfolgen, so gelangen wir noch eines Tages zum Schluß, daß zur Wahrnehmung von Lichteindrücken der Augapfel mit allen seinen Bestandteilen überflüssig sei."³²⁶

Wundt griff die Ergebnisse Ewalds auf, da er sich gewisse akustisch-physiologische Phänomene wie das Empfinden von Schwebungen, worüber gleichfalls eine größere Anzahl von Veröffentlichungen verfaßt wurde, nur aufgrund einer direkten Erregbarkeit des Akustikus durch Schall erklären konnte.³²⁷ Ewald übergab ihm daraufhin eine von ihm operierte Taube, der beidseitig das Labyrinth entfernt worden war. Wundt überprüfte nun die Ewaldsche Hypothese, indem er die Schallreaktionen der Ewaldschen Taube und die einer gesunden Taube verglich. Er stellte fest: "[...]so kann kein Zweifel aufkommen, dass die labyrinthlose Taube trotz der bereits theilweise eingetretenen Atrophie der Hörnerven genau ebenso auf Schallreize reagierte wie ein im Vollbesitz seiner peripherischen

³²¹ "Eine Taube hört auch noch nach gänzlicher Fortnahme beider Endapparate des Octavus." Ewald (1898) S. X

³²² Ewald (1895)

³²³ Zit. nach Stein (1894) S. 171

³²⁴ Müller (1838) S. 411

³²⁵ Müller (1838) S. 417

³²⁶ Stein (1894) S. 171

³²⁷ Wundt (1893)

Sinnesapparate befindliches Thier." ³²⁸ Desweiteren konstatierte Wundt in Übereinstimmung mit Ewald eine Unempfindlichkeit der Tauben gegenüber höheren Tönen (größer als 440 Hz).

Einige Autoren wie Fano und Masini bestätigten Ewald. "Die Tauben, welche der Canäle und der Schnecke beraubt sind, können noch ziemlich gut auf Schall reagieren."³²⁹ Andere Autoren widersprachen jedoch heftig. So schreibt Bernstein: "Glückliches Zeitalter, in welchem diese Entdeckung zur Wahrheit würde! - Es gäbe von da an keine Taubheit mehr. Leider ist dem nicht so."³³⁰ Er hatte zusammen mit Matte Versuche unternommen, in denen labyrinthlose Tauben auf Pistolenknallen nicht reagiert hatten.

6.3.3 Das Lichtlabyrinth

1907 legte Stanislaus von Stein eine Veröffentlichung vor unter dem Titel "Ein Fall von nichteitriger Erkrankung des rechten Labyrinths. Zerstörung des Endapparats. Folgen. Eine neue Funktion des Labyrinths (Lichtlabyrinth)." Vielleicht ermutigt durch die jüngsten Erfolge der klinischen Vestibularisforscher, vor allem durch Bárány, meinte von Stein neben das bekannte motorische Labyrinth, das er nicht in Abrede stellte, ein neues "Lichtlabyrinth" setzen zu müssen. Er beschrieb eine junge Patientin mit einseitig radikaloperiertem Ohr, die nach der Ohroperation zunehmend über Schwindel klagte. Die Patientin gab an, die sie umgebenden Gegenstände in einer ständigen Bewegung nach rechts zu sehen, obwohl von Stein keinerlei Nystagmus bei ihr konstatieren konnte. Mit der Zerstörung des Labyrinths verschwanden diese Erscheinungen. Von Stein schrieb: "Diese neu entdeckte Funktion des Labyrinths schlage ich vor, zum Unterschied von dessen motorischer Funktion, optisches Labyrinth oder Lichtlabyrinth (labyrinthe lumineux) zu nennen."³³¹ Dieser Effekt sollte außerdem dazu dienen, "mit Hilfe von Lichtbildern Störungen des die Bewegungen koordinierenden Apparats aufzudecken. Den Versuch selbst schlage ich vor, Lichtdrehversuch, Photo- oder Eidokinese, photo- oder eidokinetischer Versuch, die durch die Bewegung hervorgerufene Erscheinung aber Photokinese oder photokinetische Störung der Koordination, des Gleichgewichts zu

³²⁸ Wundt (1894) S. 504

³²⁹ Fano (1890) S. 787

³³⁰ Bernstein (1894) S. 476

³³¹ Stein (1907) S. 37-38

nennen."³³² Dieser Lichtdrehversuch sollte durch Verfolgen der Bewegung einer Kerze oder einer ähnlichen Lichtquelle bei einem Labyrinthkranken Schwindel und Bewegungsstörungen auslösen.

Dieses Konzept eines Lichtlabyrinths ließ sich wissenschaftlich nicht halten und hat deshalb zu recht wenig Resonanz gefunden. Es ist ein Beispiel dafür, daß auch ausgezeichnete Forscher nicht vor schrecklichen Kurzschlüssen gefeit sind und daß schon damals die Formulierung und Einführung neuer Begriffe wissenschaftlichen Ruhm zu versprechen schien.

6.4 Das Gehörorgan der Fische

Wenn nur die Schnecke eine Schallempfindung vermittelt, so drängt sich natürlich die Frage auf, ob die Tiere, die über keine Schnecke verfügen, eine Gehörsempfindung besitzen. Bereits Mach schrieb: "Möglich, dass, wie Breuer auch vermuthet, die sogenannten Gehörsorgane der niedersten Thiere nichts wie Organe der Bewegungsempfindung sind."³³³ Entsprechend näherte man sich diesem Thema von zwei Seiten: Einmal untersuchte man das Hörvermögen der schneckenlosen Tiere, zum zweiten untersuchte man deren Bewegungsempfindungen.

Da es sich bei den Tieren ohne Schnecke vor allem um im Wasser lebende Tiere handelt, wurde natürlich viel darüber diskutiert, inwieweit Schall von der Luft ins Wasser übertritt, wie die Schallausbreitung im Wasser vor sich geht und ob es möglich ist, eine Schallwelle durchs Wasser zu leiten, die prinzipiell durch kein noch so feinempfindendes Tastorgan empfunden werden kann. Untersuchungen zum Hörvermögen schneckenloser Tiere wurden z.B. von Kreidl, Beer oder Hensen durchgeführt.

Stellvertretend sei hier Kreidl mit seinen Untersuchungen an Fischen zitiert. Er kam zu dem Schluß, "...

1. dass für die Goldfische ein Hören durch das "Gehörorgan" nicht nachgewiesen werden kann,
2. dass sie jedoch wohl auf Schallwellen reagieren, welche sie aber durch einen besonders entwickelten Hautsinn empfinden." ³³⁴

³³² Stein (1907) S. 39

³³³ Mach (1875) S.123

³³⁴ Kreidl (1895) S.464

Die Möglichkeit einer gewissen Gehörsempfindung, die über die Tastempfindung hinausgeht, sieht er jedoch in der Lagna. "Die Thatsache, dass es auch Fische gibt, die Töne hervorzubringen im Stande sind, welche möglicher Weise den Zweck haben können, als Lockmittel zu dienen, lässt immerhin die Möglichkeit zu, dass bei diesen Species bereits eine geringe Ausbildung des Gehörorgans stattgefunden hat; man könnte daran denken, dass vielleicht die "Lagna" oder die "Macula neglecta" diese Functionen übernommen hat."³³⁵

Wenn die Otolithenorgane keine Hörfunktion übernehmen können, sondern Gleichgewichtsorgane darstellen sollten, müßten sich natürlich mit ähnlichen Experimenten wie bei den Tauben Flourens' durch Zerstören der entsprechenden Organe Gleichgewichtsstörungen hervorrufen lassen. Solche Versuche wurden an verschiedenen Tieren wie Haifischen etc. durchgeführt. Dabei wurden von einigen Autoren behauptet, Gleichgewichtsstörungen beobachtet zu haben, von anderen wurden diese nur unter bestimmten Versuchsbedingungen wahrgenommen. Deshalb wurden in der Literatur zu diesem Thema die hier erwähnten Versuche einmal als Beweis für und ein anderes Mal gegen die "Nicht-Gehör"-Funktion des Labyrinths gewertet.

Beer fühlte sich angesichts dieser noch nicht vollständig abgeklärten Beurteilung sechzig Jahren zurückversetzt. Damals schrieb Johannes Müller: "Bei den mehrsten wirbellosen Thieren kennt man keine dem Gehörorgan vergleichbaren Theile, und es kann sogar für manche zweifelhaft seyn, ob sie hören, da nicht jede Reaction gegen Schwingungen Ton genannt werden kann, dieselben Schwingungen vielmehr auch durch das Gefühl als Beben vernommen werden können."³³⁶ Man war also in den letzten 60 Jahren keinen Schritt weiter gekommen.

In diesem Zusammenhang muß eine Beobachtung Hensens aus dem Jahre 1863 erwähnt werden. Hensen stellte fest, daß einige Krebse bei der Häutung auch ihre Otolithen verlieren und sich nach der Häutung mit den eigenen Scheren Kristalle in die Ohren stecken. Er fand bei den Krebsen, die er in einem nur mit Harnsäurekristallen versehenen Glas mit Wasser hielt, die Harnsäurekristalle nach der Häutung in den Otolithenorganen wieder. Er schrieb: "Interessant war es den Palaemon zu beobachten, wie er eifrig mit seinen Scheren auf dem Boden des Glases umhergriff, und sie [die Harnsäurekristalle] dann in die Ohrblase hineinführte; ich sah zwar nicht, dass er etwas zwischen den Scheren hatte, jedoch sieht man die Körner der Blase schon recht schwierig mit blossen Auge!"³³⁷

³³⁵ Kreidl (1895) S. 463/464

³³⁶ Müller (1838) S. 411

³³⁷ Hensen (1863a) S. 330

Diese Beobachtung Hensens wurde in der Otolithenliteratur immer wieder zitiert. Kreidl diente sie, auf Anregung von Exner, als Ausgangspunkt zu einem neuen Experiment. Er setzte Krebse, die sich gerade gehäutet hatten, in einen Behälter mit gefiltertem Wasser, dem er Eisenpulver zugab und überzeugte sich durch mikroskopische Untersuchungen an getöteten Exemplaren davon, daß das Eisenpulver von den Krebsen wirklich als Otolithen verwandt wurde. Dann experimentierte er mit einem Elektromagneten. Näherte er den Elektromagneten einer Otozyste, "so bleibt das Thier, so lange kein Strom durch den Elektromagneten geht, vollkommen ruhig; in dem Moment, wo man den Strom schliesst und der Stab zu einem Magneten wird, dreht sich das Thier vom Magneten weg, so dass die Medianebene seines Leibes geneigt ist."³³⁸

Zur Kontrolle klebte Kreidl einem Krebs "eine beträchtliche Menge Eisen mittelst Asphaltlack"³³⁹ auf. Jetzt konnte er zwar eine Anziehung durch den Magneten beobachten, die so weit ging, daß er den Krebs an dem Magneten aus dem Wasser ziehen konnte, aber er registrierte keine Abwendungsreaktion wie bei dem vorhergehenden Fall. Somit mußte es sich im ersten Fall um eine wie er sagte "functionelle Reaction des Thieres" handeln.³⁴⁰ Seine Schlußfolgerung über die Funktion der Otolithenorgane der Krebse ist jetzt ganz klar:

"Die Versuche mit dem Magneten zeigen nun in eclatanter Weise, dass wirklich die Otolithenapparate es sind, welche die Thiere über die Lage im Raum zur Verticalen orientieren und dass eine Lageveränderung der Otolithen das Thier von der veränderten Lage im Raum benachrichtigt."³⁴¹

Dieser Versuch konnte schwer widerlegt werden. Er bestätigte, daß der prinzipiell gleiche periphere Erregungsprozeß im Laufe der Entwicklung für zwei verschiedene Sinnesfunktionen genutzt wurde. Somit war auch die räumliche Verbundenheit dieser Sinnesorgane erklärt.³⁴²

³³⁸ Kreidl (1893a) S. 161

³³⁹ Kreidl (1893a) S. 162

³⁴⁰ "Dass es sich um eine functionelle Reaction des Thiers handelt, hervorgerufen durch die Bewegungen der Otolithen und der Härchen und nicht um eine physikalische Anziehung der oben geschilderten Art geht daraus hervor, dass die Bewegung des Thieres der physikalischen Anziehung des Thieres entgegengesetzt ist." (Kreidl (1893a) S. 162)

³⁴¹ Kreidl (1893a) S. 167

³⁴² "Das gemeinsame Prinzip, auf welchem die Thätigkeit des statischen und des Hörorgans beruht, besteht offenbar darin, dass beide Organe Nervenendapparate enthalten, welche durch Flüssigkeitsbewegungen in Erregung versetzt werden. [...] So heterogen auch die durch dieselben ausgelösten Wirkungen in dem Centralorgan und in dem Gesamtorganismus sein mögen, der periphere Erregungsprozess ist in beiden ein im Prinzip gleichartiger." Bernstein (1894) S. 490

7. Klinische Betrachtungen

7.1 Untersuchungen von Gehörlosen

Die meisten Ergebnisse in der Vestibularisforschung wurden durch physiologische Experimente und nicht durch klinische Erfahrungen gewonnen. Bei den physiologischen Experimenten wiederum dominierten von der Quantität her die Tierversuche. Der Stellenwert von Tierversuchen wurde z.B. von Böttcher so hoch eingeschätzt, daß er die erste Machsche Arbeit gar nicht für diskussionswürdig hielt, da sie keine "experimentellen Versuche" enthalte.³⁴³ Mach antwortete auf diese Kritik: "Er [Böttcher] scheint hierbei nicht beachtet zu haben, daß Vivisektionen weder das einzige noch das beste Mittel sind, physiologische Tatsachen kennen zu lernen oder deren Theorien zu prüfen. Sonst würde er bemerkt haben, dass meine Arbeit grösstentheils Versuche enthält [...]"³⁴⁴ Die Problematik der Übertragbarkeit von Tierversuchen auf den Menschen hatte sich aber in der Vestibularisforschung schon seit den Versuchen Flourens' gezeigt. So erschienen die Kopfverdreungen der Flourensschen Tauben lange Zeit mysteriös, bis Breuer sie als Erscheinungsform des Schwindels bei diesen Vögeln interpretierte. Eine solche Schwierigkeit übergang natürlich Mach, indem er Drehversuche mit menschlichen Probanden unternahm. Er mußte dann davon ausgehen, einen funktionierenden Vestibularapparat zu untersuchen, und mußte darauf verzichten, Versuche unter ein- oder beidseitiger Ausschaltung des Vestibularapparates zu unternehmen, die sich nur im Tierversuch durch eingreifende Operationen durchführen ließen. Bei Gehörlosen freilich ist die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer Innenohranomalie und damit auch von Bogengangsanomalien im Vergleich zur Normalbevölkerung erheblich erhöht. Die Untersuchung der Orientierungsfähigkeit dieser Bevölkerungsgruppe im Vergleich zur Normalbevölkerung müßte also die Effekte eines Defizits im Bereich der Vestibularorgane zeigen können und somit Rückschlüsse erlauben auf die Funktion des Vestibularapparates. Als grundlegende Untersuchungen zu diesem Thema erschienen eine mehr physiologisch

³⁴³ Böttcher (1875) S. 59

³⁴⁴ Mach (1875a) S. 49/50

orientierte Arbeit von James und eine mehr anatomisch ausgerichtete Untersuchung von Mygind.

1890 legte Mygind eine Metaanalyse aller in der Literatur beschriebenen Sektionsberichte der Hörorgane Gehörloser vor. Vor allem suchte er "eine solide literarische Grundlage zu gewinnen, auf der unsere noch mangelhafte Kenntnis der pathologischen Anatomie der Taubstummheit sich weiterentwickeln kann."³⁴⁵ Er räumte ein, daß das Gehörorgan recht schwierig zu untersuchen sei und daß die Sektionsberichte häufig nicht zu verwerten seien, da wichtige Teile wie das Innenohr nicht untersucht wurden. Insgesamt trug Mygind 118 Fälle zusammen, wobei in 56 % der Fälle die Bogengänge verändert vorgefunden wurden. Er schreibt: "Die bedeutende Häufigkeit, mit welcher die Canales semicirculares abnorm befunden wurden, ist um so mehr hervortretend, als sie in 20 Fällen der einzige Abschnitt waren, wo Abnormalitäten ihren Sitz hatten."³⁴⁶ Wenn die Zahlen Myginds zutreffend sind, mußten sich also bei Gehörlosen zu einem hohen Prozentsatz Defizite in der normalen Funktion des Vestibularapparates zeigen. Diese Argumentation wurde von Hensen geradezu spöttisch ins Gegenteil verkehrt. "Wären 50 Proc. unter den Taubstummen wirklich so ungeschickt, so müsste bei dem völlig freien Leben, das die Kinder ausser den Schulstunden führten, häufig ein Unglücksfall beim Treppen- und Leitersteigen, beim Klettern und Turnen eingetreten sein, es müssten bestimmte Vorsichtsmassregeln schon seit langer Zeit überall zur Anwendung gebracht worden sein."³⁴⁷

James jedoch hatte gezeigt, daß bei einer Fehlfunktion des Vestibularapparates nicht solch grobmotorischen Ausfälle zu erwarten seien, sondern daß sich auch bei den Gehörlosen die Defekte im Bogengangssystem erst durch entsprechende Versuche nachweisen ließen. Bereits im Jahre 1882 war seine in der Bogengangsliteratur geradezu als klassisch angesehene und immer wieder zitierte Arbeit erschienen: "The sense of dizziness in deaf-mutes."³⁴⁸ James führte Experimente mit Gehörlosen durch und verwendete Studenten mit normalem Gehör als Kontrollgruppe. Zwei wesentliche Fakten berichtete er: Zum einen führte er Rotationsexperimente aus, um bei seinen Probanden Schwindel auszulösen. Von 518 untersuchten Gehörlosen wurden 186 gar nicht und 143 nur in geringem Ausmaß schwindelig, während von den 200 Studenten der Kontrollgruppe alle bis auf einen schwindelig wurden.³⁴⁹ Zum anderen befragte er die Gehörlosen, die nicht schwindelig

³⁴⁵ Mygind (1890) S. 117

³⁴⁶ Mygind (1890) S. 112

³⁴⁷ Hensen

³⁴⁸ James (1882)

³⁴⁹ "Of these 186 are reported as totally insusceptible of being made dizzy by whirling rapidly round with the head in any position whatever." James (1882) S. 240

wurden und deren Orientierung aufgrund der Bogengangsreizung also nach James' Meinung ausgefallen sein müßte, nach ihren Erlebnissen beim Tauchen. Ein erheblicher Anteil der Gehörlosen, die bei Rotation nicht mit Schwindel reagierten, war unter Wasser mit geschlossenen Augen absolut unfähig, sich zu orientieren und geriet in eine erhebliche Panik, bis es gelang, den Kopf wieder über das Wasser zu heben.³⁵⁰ Diese beiden Ergebnisse lassen sich durch die Theorie von der Bewegungsempfindung durch die Bogengänge schlüssig erklären und sind somit eine starke Stütze dieser Theorie. Im ersten Fall macht sich das Fehlen des Vestibularapparates für die Gehörlosen positiv bemerkbar in der Weise, daß sie im Gegensatz zur Normalbevölkerung auf Drehung nicht mit Schwindel reagieren. Auch dies wurde von einigen Gegnern der Theorie vom Gleichgewichtssinn ironisiert, indem sie sagten, daß dieser neue Sinn anscheinend nichts nütze außer, einen schwindelig werden zu lassen. In welcher Weise wir aber von diesem Sinn profitieren oder geradezu von ihm abhängen, erweist das zweite Experiment von James, in dem sich zeigte, daß wir im Wasser bei einem Ausfall der visuellen Orientierung absolut unfähig sind, uns zu orientieren, wenn unser Gleichgewichtssinn nicht funktioniert. Breuer schätzte die Arbeit von James sehr hoch ein und bemerkte: "[Das Ergebnis dieser Untersuchung] scheint mir entscheidender als alle bisherigen Resultate der Thierversuche und eine Wiederholung dieser Versuche viel wichtiger als die abermalige Durchschneidung des Acusticus an Thieren."³⁵¹

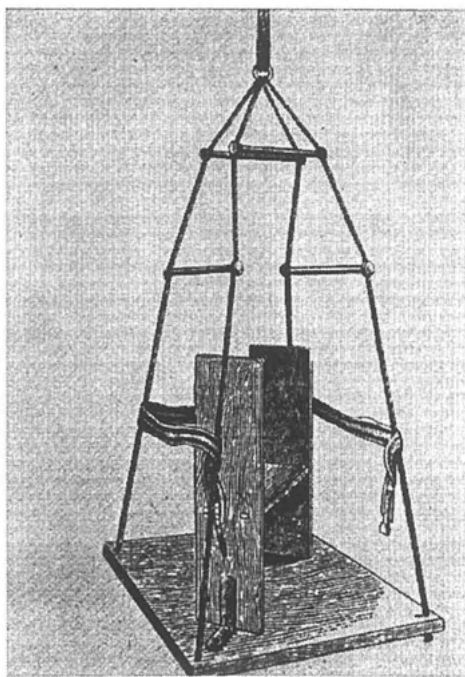


Abb. 15 Kreidls Drehapparat

³⁵⁰ "A certain number of non-dizzy deafmutes when plunged under the water seem to be affected by an indescribable alarm and bewilderment, which only ceases when they find their heads above the surface." James (1882) S. 246

³⁵¹ Breuer (1891) S. 295

Einige Autoren beherzigten die Breuersche Forderung. Kreidl untersuchte 108 gehörlose Kinder.³⁵² Als objektive Untersuchungsmethode bot sich der Augennystagmus bei Drehung an. Kreidl konstruierte ein Drehgestell (s. Abb. 15) das von Untersucher und Proband gemeinsam bestiegen wurde und es dem Untersucher erlaubte, während der Drehung den Augennystagmus durch die geschlossenen Lider des Probanden hindurch durch Befühlen der Augäpfel zu ertasten. Kreidl fand nun in guter Übereinstimmung mit Myginds Sektionsdaten, daß bei 50 % der untersuchten Gehörlosen keine Augenbewegungen bei Drehung registriert werden konnten. Die zum Vergleich an normalen Individuen (Studierenden der Medicin und an Aerzten) vorgenommenen Versuche ergaben, dass unter 50 Fällen ein einziger war, der "subnormale" Augenbewegungen zeigte.³⁵³

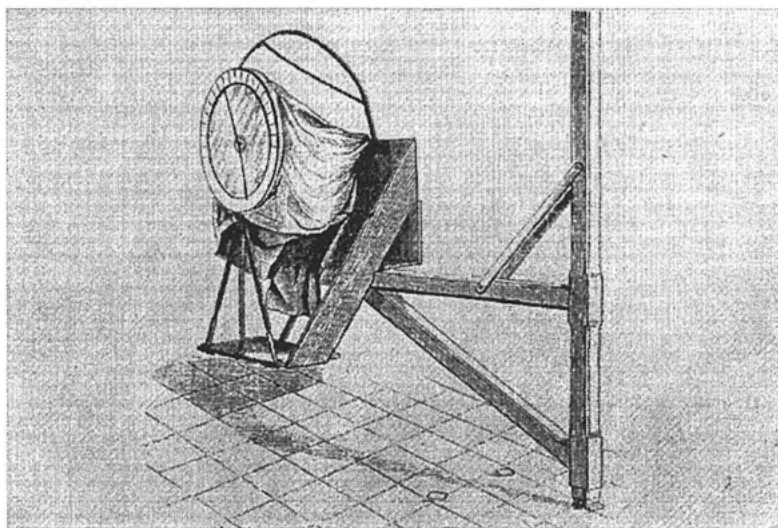


Abb. 16 Kreidls Zeigerapparat

Kreidl versuchte außerdem, die Funktion der Otolithenorgane durch Untersuchungen an Gehörlosen zu ergründen. Er griff Machs Versuchsanordnung wieder auf und ging von der fast jedem bekannten Vorstellung aus, daß man während einer Rotation, auch wenn man sich genau in der Vertikalen befindet, das Gefühl hat, mit dem Kopf zur Rotationsachse

³⁵² Kreidl (1892a)

³⁵³ Kreidl (1892a) S. 132

geneigt zu sein. Er ließ nun in einem Zeigerapparat (s. Abb. 16) während einer Rotation mit konstanter Geschwindigkeit sowohl Normalhörende als auch Gehörlose die vermeintliche Vertikale mit einem Zeiger einstellen, dessen Abweichung von der tatsächlichen Vertikalen er hinterher bestimmen konnte. Exakt die Gehörlosen, bei denen kein Nystagmus auszulösen war, täuschten sich nicht über die Vertikale, während die Normalhörenden durchschnittlich eine Ablenkung von ca. $8,5^\circ$ zeigten.³⁵⁴ Auch wenn diese Ergebnisse kein Beweis für die genaue Funktion der Otolithen war, paßten sie doch gut zu den theoretischen Vorstellungen.

Pollak ergänzte die Arbeit von Kreidl durch Untersuchungen mit elektrischem Strom, wobei ihm 64 der von Kreidl untersuchten Gehörlosen zur Verfügung standen. Er fand, "dass bei Galvanisation des Kopfes an Taubstummen bei ca. 30% sowohl die Kopf-, als auch die Augenbewegungen, bei weiteren ca. 6% die einen oder die anderen fehlen." Eine völlige Übereinstimmung zwischen Kreidls und seinen Ergebnissen fand er in dem Umstand, daß alle Gehörlosen, die auf Drehungen mit Nystagmus reagierten, auch eine galvanische Reaktion aufwiesen. Teilweise zeigten aber Gehörlose eine galvanische Reaktion, die bei Kreidls Experimenten keinen Nystagmus geboten hatten. Eine Erklärung dafür könnte nach Pollak in der Tatsache liegen, daß Kreidl vor allem den horizontalen Bogengang reizte, während durch die galvanischen Experimente alle Bogengänge gleichzeitig erregt wurden.

In Würdigung der Pollakschen Arbeit trug Kreidl dann noch einen Einzelfall bei.³⁵⁵ Er unterzog den einzigen Probanden seiner Kontrollgruppe (angeblich ein Normalhörender), der bei seinen Versuchen entgegen der Erwartung nicht normal reagiert hatte, einer galvanischen Untersuchung. Obwohl das Gehör des Probanden völlig normal war, zeigte er keinen galvanischen Schwindel. Nach diesen Ergebnissen müßte man also bei diesem Probanden eine isolierte Schädigung der Bogengänge diagnostizieren.

Wie in der Bogengangsliteratur üblich, läßt sich jedoch genauso gut ein Autor finden, der bei dem gleichen Untersuchungsgegenstand und teilweise sogar ähnlichen experimentellen Daten zu völlig anderen Schlußfolgerungen kommt. Bruck, der übrigens ein Assistent von Baginsky, einem entschiedenen Gegner von Goltz, Mach und Breuer, war, beschränkte sich unter Bezug auf die Arbeit von Kreidl und die Einwände Hensens wesentlich darauf, das lokomotorische Verhalten von Gehörlosen zu prüfen. Er bestätigte die experimentellen Befunde Kreidls, indem er einen deutlich signifikanten Unterschied im lokomotorischen Verhalten zwischen Normalhörenden und Gehörlosen konstatierte.³⁵⁶ Seine

³⁵⁴ Kreidl (1892a)

³⁵⁵ Kreidl (1894)

³⁵⁶ Bruck (1895) S. 36

Schlußfolgerungen jedoch sind ein erneuter Beweis für die verwirrenden Argumentationen, die im Zusammenhang mit der Gleichgewichtsforschung vorgebracht wurden. Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse Myginds, daß bei 40 % der Gehörlosen die Bogengänge gleichzeitig mit der Schnecke pathologisch verändert sind, folgerte Bruck, "daß das Gehörorgan als solches bezw. die normale Function desselben für die vollkommene Statik des Körpers von Bedeutung ist."³⁵⁷ Bei der Diskussion der Ergebnisse von James lieferte er dann ein verwirrendes Beispiel für die Vorteile dialektischer Argumentation: "Denn wenn die Bogengänge im Sinne von Goltz als ein Gleichgewichtsorgan aufzufassen wären, müsste ihr Fehlen logischer Weise Störungen des Gleichgewichts, also auch Drehschwindel machen. James betont aber gerade den absoluten Mangel aller Schwindelerscheinungen bei einer grossen Zahl seiner Taubstummten."³⁵⁸ Man hätte Bruck empfehlen sollen, den Absatz über Ausfall-, Ersatz- und Reizerscheinungen bei Ewald gründlich zu lesen.

7.2 Die Vorstellungen der Kliniker

Das Gebiet der Bogengangphysiologie wurde vor allem in der Grundlagenforschung von Physiologen bearbeitet. Es waren jedoch die klinischen Ohrenärzte, die über die Relevanz für die klinische Anwendung entschieden. Somit erhielt ihre Stimme erhebliches Gewicht, wenn es um die allgemeine Anerkennung der neuen Vorstellungen von der Funktion des Innenohrs ging. Die Anknüpfungspunkte für die Kliniker waren im allgemeinen "die häufiger beobachteten Schwindelerscheinungen bei Ohrerkrankungen", spezieller die Diskussionen über das Krankheitsbild des Morbus Ménière.

Schon ein Jahr nach der Veröffentlichung von Goltz sind zwei klinische Arbeiten von Brunner und Knapp erschienen, die sich beide explicit auf Goltz beziehen.³⁵⁹ Beide wußten, "dass Schwindel bei den verschiedensten krankhaften Zuständen des Ohres häufig vorkommt"³⁶⁰, beide sahen den interessanten Zusammenhang zwischen dem von Ménière beschriebenen Symptomenkomplex und der Arbeit von Goltz, und beide führten aus ihrer eigenen Praxis und aus der Literatur klinische Fälle an, die zu dem Themenkomplex zu passen schienen. Wie stets bisher bei diesem Thema konnten auch diese beiden Kliniker

³⁵⁷ Bruck (1895) S. 40

³⁵⁸ Bruck (1895) S. 41

³⁵⁹ Brunner (1871), Knapp (1871)

³⁶⁰ Brunner (1871) S.63

nicht zu einer einheitlichen Meinung kommen. Während Brunner der Goltzschen These eher skeptisch gegenüberstand, glaubte Knapp, seine klinischen Fälle gut mit den Vorstellungen Ménières und Goltz' vereinbaren zu können.

Diese beiden Stellungnahmen scheinen wohl die ersten klinischen Veröffentlichungen unter Bezug auf die Goltzsche Theorie zu sein; sie kamen jedoch nicht von den bedeutenden Otologen der damaligen Zeit. Im deutschsprachigen Raum gab es in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zwei wichtige Zentren für die Medizin: Berlin und Wien. Die Ohrenheilkunde wurde in Wien vertreten durch die zwei Otologen Gruber und Politzer, in Berlin durch Lucae. Insgesamt scheinen die Kliniker eher Anhänger der althergebrachten Meinung zu sein, daß die Bogengänge etwas mit dem Hören zu tun haben.

Gruber artikuliert schon bei der Präsentation der Goltzschen Tauben auf der Innsbrucker Naturforscherversammlung die Skepsis der Kliniker. Der Sitzungsbericht führte auf: "Dr. Gruber bemerkte hierzu [zu der Goltzschen Präsentation], dass ähnliche Erscheinungen bezüglich der Kopfhaltung auch bei Ohrenkrankheiten zu beobachten seien. Jedoch habe er bei einem Mann mit völliger Zerstörung des Gehörorgans keinerlei Symptome constatieren können, wie sie die beiden Thiere boten. Er bezweifelt somit die Richtigkeit der Ansicht, dass dieselben von der Zerstörung des Gehörorgans herrühren."³⁶¹ In dieser ablehnenden Stellungnahme wird exemplarisch eine beliebte Argumentation der Kliniker deutlich. Während von Seiten der Physiologen durchdachte Versuchsanordnungen und Experimente mit teilweise Hunderten von Tieren vorgelegt wurden, genügte den Klinikern ein einzelner Patient, um sich für oder gegen eine bestimmte Theorie auszusprechen. Diese Methode ist zweifellos nicht zufriedenstellend, und deshalb ist es heutzutage ja auch in der klinischen Forschung üblich, mit möglichst großen Probandengruppen zu arbeiten. Damals war jedoch der Begriff der klinischen Studie völlig unbekannt, die Veröffentlichung einzelner detailliert beschriebener Krankengeschichten war die Regel.

In ähnlicher Weise stützte auch Lucae seine ablehnende Argumentation nur auf einzelne klinische Fälle. Am 11.2.1881 berichtete er in der physiologischen Gesellschaft in Berlin "Über optischen Schwindel bei Druckerhöhungen im Ohr". Er beschrieb eine Patientin mit einseitigem Trommelfelldefekt, die bei Anwendung der Luftdusche über Schwindelerscheinungen berichtete und "die Gegenstände sich im Zimmer von rechts nach links drehen" sah.³⁶² Lucae machte eine Druckerhöhung durch die Luftdusche für die beobachteten Schwindelerscheinungen verantwortlich, wobei er diskutierte, ob diese Druckschwankungen auf die Cerebrospinalflüssigkeit übertragen würden oder direkt die

³⁶¹ Tageblatt (1869) S. 136-137

³⁶² Lucae (1881a) S. 194

Dura reizten; unzweifelhaft sei jedenfalls das Gehirn beteiligt. In seiner gleichnamigen Veröffentlichung³⁶³ ging er auch auf den Zusammenhang mit den Vorstellungen zur Funktion der Bogengänge ein. Argumentativ setzte er sich jedoch nicht damit auseinander, sondern äußerte vor allem seine bereits vorgefaßte Meinung, als er sagte: "[...], als mein *geringer Glaube* an die Goltz'sche Lehre durch einen bereits Pfingsten 1880 von mir beobachteten Fall gänzlich erschüttert worden ist."³⁶⁴ Bei dem geschilderten Fall handelte es sich um einen Jungen, der im Verlaufe einer Meningitis völlig ertaubte und schließlich verstarb. "Die Section ergab eine tuberculöse Basilar meningitis nebst Hydrocephalus internus; die Acustici zeigten sich vollkommen frei, während die beiden Labyrinth sich im Zustand der hämorrhagischen Entzündung befanden, welche namentlich an den halbzirkelförmigen Canälen und in den Vorhöfen sehr ausgesprochen war."³⁶⁵ Lucae hob hervor, daß die Taubheit zu keinem Zeitpunkt von Schwindelerscheinungen begleitet war. Noch 1892 genügte Lucae der Hinweis auf diesen Einzelfall, um im Anschluß an einen Vortrag (übrigens auf der ersten Versammlung der deutschen otologischen Gesellschaft in Frankfurt a.M.) "gegen die Bogengangsschwindeltheorie" Stellung zu beziehen.³⁶⁶ Lucae hatte allerdings schon viel früher Gelegenheit, die Experimente der Physiologen zu beurteilen. 1873 demonstrierte Curschmann im Beisein Lucaes im medizinisch-physiologischen Verein zu Berlin von ihm selbst operierte Tauben.³⁶⁷ Obwohl diese Tauben die von Goltz beschriebenen Veränderungen zeigten, folgerte Curschmann, daß die Goltz'sche Hypothese nicht haltbar sei.³⁶⁸ Wenn also auch die experimentelle Physiologie ihre Experimente ganz unterschiedlich interpretierte, hatten natürlich auch die Kliniker keine Veranlassung, den physiologischen Schlußfolgerungen mehr Vertrauen zu schenken als ihren eigenen Auffassungen, die sich auf einzelne Patientenbeobachtungen stützten.

Politzer hat sich im Gegensatz zu Lucae und Gruber nicht so dezidiert geäußert. In der 2. Auflage seines Lehrbuchs der Ohrenheilkunde aus dem Jahre 1887 äußerte er sich noch sehr vorsichtig über die Funktionen des Innenohrs, wenn er auch eine kurze Zusammenfassung der Auseinandersetzungen über die Funktion der Bogengänge

³⁶³ Lucae (1881b)

³⁶⁴ Lucae (1881b) S. 245

³⁶⁵ Lucae (1881c) S. 702

³⁶⁶ Szenes (1892) S. 302

³⁶⁷ Lucae schrieb im Archiv für Ohrenheilkunde (1874) Band 2 als Rezensent von Curschmann: "Als Verfasser [Curschmann] seine Versuchsthiere im Berliner medicinisch-physiologischen Verein vorzeigte, war Ref. [Lucae] zugegen [...]"
Curschmann berichtet in Curschmann (1875) S. 458: "[...] nachdem ich schon vorher (im December 1873) dieselben unter Vorzeigung von Versuchsthiern zum Gegenstand eines längeren Vortrags in der „Berliner Medicinisch-Physiologischen Gesellschaft“ gemacht hatte."

³⁶⁸ Archiv für Ohrenheilkunde 8: 307-310

vornahm.³⁶⁹ In der 4. Auflage dieses Lehrbuchs aus dem Jahre 1901 wurde er schon etwas deutlicher.³⁷⁰ Im Jahre 1907 verfaßte er dann aber ein Vorwort zu Bárány's Buch über die klinische Vestibularisprüfung, in dem er sich in voller Übereinstimmung mit seinem Assistenten Bárány und dessen Auffassung von der Gleichgewichtsfunktion des Innenohrs zeigte.

Sicherlich sind Gruber, Politzer und Lucae nicht die einzigen wichtigen Otologen der damaligen Zeit. Auch von Trötsch muß hier genannt werden, ebenso sollten auch Schwartze aus Halle und noch einige andere erwähnt werden, jedoch sind von diesen allen keine deutlichen Aussagen über die Bogengänge nachweisbar. Schwartze berichtete allerdings 1877 von dem Fall eines Patienten, bei dem im Rahmen einer Mastoidoperation ein Bogengang eröffnet wurde und der danach über heftigen Schwindel klagte. Die Sektion des im weiteren Verlaufs gestorbenen Patienten ergab ein unverletztes und auch sekundär nicht entzündetes Gehirn bei eitriger Destruktion eines Bogengangs. Schwartze schloß aus dem "unglücklich abgelaufenen Fall": "So viel mir bekannt ist, liegt in dieser Beobachtung der erste sichere Beweis am Menschen vor für die directe Abhängigkeit dieser Erscheinungen [Schwindel, Erbrechen, Störung des Gleichgewichts] von einer Verletzung des Ohrlabyrinths."³⁷¹ Das ist zwar auch keine eindeutige Aussage zur Theorie der Bogengänge als Gleichgewichtsorgan, später bezogen jedoch dann in dem von Schwartze herausgegebenen Handbuch der Ohrenheilkunde Gad für den physiologischen und Gradinego für den otologischen Teil ganz klar Stellung für die statische Funktion des Ohrlabyrinths.³⁷²

Auch die Sichtung der zahlreichen Literatur über den Morbus Ménière ergibt ein wechselhaftes Bild. Natürlich gab es neben den Autoren, die in der Goltz'schen Hypothese die entscheidende Überlegung zur Erklärung der Ménièreschen Symptome sahen, auch solche, die die Ursache des M. Ménière nicht in den Bogengängen sahen. So schrieb Baginsky: "Würde die Ursache des Menier'schen Symptomenkomplexes in isolierten Erkrankungen der Bogengänge gelegen sein, und würden letztere nur dem statischen Sinn dienen, so dürfte das Gehörvermögen keine Einbusse erleiden." Und weiter: "Wir sehen

³⁶⁹ "Die Function der Otolithen dürfte in einer Abdämpfung des Schalls bestehen. [...] Die physiologische Bedeutung der Bogengänge ist [...] noch nicht ermittelt." Politzer (1887) S. 469

³⁷⁰ "Nach der jetzt gangbaren Ansicht besteht die Function des Vestibular-(Otolithen)apparates darin, die progressive Beschleunigung des Kopfes [...] zur Wahrnehmung zu bringen. [...] Nach der jetzt gangbaren Hypothese soll [...] die Function der Bogengänge demnach darin bestehen, Drehungen des Kopfes und mittelbar des Körpers als Winkelbeschleunigungen zu percipieren." Politzer (1901) S. 576-577

³⁷¹ Schwartze (1877) S. 132

³⁷² Gad im 1. Band IX. Kapitel "Physiologie des Ohres" und Gradinego im 2. Band VI. Kapitel "Krankheiten des Labyrinths und des Nervus acusticus" in Schwartze (1892, 1893)

demnach, daß der Menier'sche Symptomencomplex bei den verschiedensten Affectionen vorkommt: sicher ist erwiesen der ursächliche Zusammenhang desselben mit Erkrankungen des Gehirn."³⁷³ Zu dieser ablehnenden Auffassung trug sicherlich auch die Inflation des Begriffes Morbus Ménière bei, der für alle mit Schwindel einhergehenden Ohrenleiden verwendet wurde. Deshalb wurde auch vorgeschlagen, diesen Begriff nur für die apoplektische Erscheinungsform der Symptomentrias zu verwenden, in den übrigen Fällen aber den Begriff Ménièresche Symptome zu verwenden.³⁷⁴

Gruber schlug in Erwiderung auf die eben zitierte Arbeit von Frankl-Hochwart vor, den Begriff Ménièresche Erscheinungen lieber zu streichen, da er nur verwirrt und "dass wir in Zukunft mit Morbus Menierei nur primär im Labyrinth auftretende Prozesse bezeichnen sollten." Aufgrund eigener Beobachtungen an Felsenbeinen und der großen Variabilität in der Größe der Labyrinthadnexen wie Aquaeductus vestibuli und Recessus cotugni trug er dann eine bemerkenswerte These zum Morbus Ménière bei: "Können wir uns nicht mit der größten Leichtigkeit denken, dass [...] eine vermehrte Ansammlung der Endolympe stattfindet, die wenn sie den Höhepunkt erreicht hat, vielleicht durch übermäßigen Druck, vielleicht sogar durch Zerreißen der Gebilde mit gleichzeitigem Blutaustritt, diese Erscheinungen wie mit einem Schlag herbeiführt und uns das wahre Bild des Morbus Menierei bietet ?"³⁷⁵ Gruber, der sich so dezidiert gegen die Vorstellungen von Goltz ausgesprochen hatte, hatte hier bereits einen wesentlichen Teil des Geschehens im Innenohr bei Morbus Ménière erfaßt.

Insgesamt muß man jedoch feststellen, daß die Kliniker lange Zeit sehr skeptisch blieben. Noch 1898 schrieben Jacobson und Blau in ihrem Lehrbuch der Ohrenheilkunde:

"Muß nach all dem anerkannt werden, daß etwas absolut Sicheres über die Art des Zustandekommens von Schwindelercheinungen bei Ohrenkranken noch nicht feststeht, so ist es doch äußerst wahrscheinlich, daß dieselben auf sehr verschiedene Weise entstehen können und zwar: a) durch pathologische Veränderungen im Zentralnervensystem, b) durch Erkrankung des Hörnervenapparates mit Einschluß des ganzen Ohrlabyrinths, und c) durch Erkrankung oder künstliche Reizung des äußeren und mittleren Ohres, sei es, daß diese sekundär die Druck- oder Zirkulationsverhältnisse im Labyrinth verändern oder direkt durch Reflex auf das Gehirn zu Gleichgewichtsstörungen führen."³⁷⁶

³⁷³ Baginsky (1888) S. 907 u. 933

³⁷⁴ Frankl-Hochwart (1895) S. 4

³⁷⁵ Gruber (1895) S. 184

³⁷⁶ Jacobson (1898) S. 102

Wie Wodak schon feststellen mußte, "zeigt diese etwas verworrene Fassung ganz klar, daß selbst ausgezeichnete Otologen der damaligen Zeit weit entfernt vom richtigen Verständnis der beobachteten Erscheinungen waren"³⁷⁷.

7.3 Der Zusammenhang zwischen thermischen Reizungen und Nystagmus

Die letztendliche Anerkennung der Gleichgewichtsfunktion des Innenohrs gelang durch die Entwicklung der kalorischen Spülung als diagnostischem Test zur Prüfung der Vestibularisfunktion. Dieser Test ruht auf zwei Säulen, erstens auf der isolierten (unphysiologischen) Vestibularisreizung eines Ohres durch warmes und kaltes Wasser und zweitens auf der Registrierung des Effekts dieser Reizung durch Beobachtung des Augennystagmus. Sowohl die thermische Reizung der Bogengänge als auch der Zusammenhang zwischen Gleichgewichtsorgan und Augenbewegung waren bekannt. Beides zu dem entscheidenden Test in der Vestibularisdiagnostik zu verknüpfen, war Bárány's Verdienst.

Heute erscheint dieser Test selbstverständlich und gehört zum Routinerepertoire einer ausführlicheren Vestibularisprüfung. Aber man muß sich vor Augen halten, wie künstlich die Testsituation bei der kalorischen Prüfung ist. Die Prüfung anderer Sinnesorgane ist sehr viel unmittelbarer und damit einsichtiger. Die Funktion des Auges wird geprüft durch eine physiologische Reizung mit Licht und durch die Registrierung des Effekts nach den Angaben des Patienten, ob er etwas gesehen hat oder nicht. Analog erfolgt eine Hörprüfung oder auch eine Geschmacksprüfung. Bei der kalorischen Prüfung erfolgt eine unphysiologische Reizung, da nur so der Effekt des einzelnen Vestibularorgans geprüft werden kann. Die Registrierung des Effekts erfolgt durch Beobachtung eines zweiten Sinnesorgans, das zur Orientierung im Raum ebenso beiträgt wie das zu untersuchende Vestibularorgan und das deswegen heute während des Tests mit einer Frenzel-Brille seiner physiologisch normalen Funktion beraubt wird. (Der Vollständigkeit halber soll erwähnt werden, daß in der Vestibularisdiagnostik natürlich auch physiologische Reizungen zu einer kompletten Beurteilung dazugehören.)

Die kalorische Prüfung ist also keineswegs das Naheliegendste. So ist es auch nicht verwunderlich, daß ihre Einzelkomponenten, nämlich die thermische Reizung und die Beobachtung des Nystagmus, im Prinzip schon lange bekannt waren und teilweise auch

³⁷⁷ Wodak (1956) S.12

schon gemeinsam beschrieben wurden, ohne daß ein so klarer Test, wie Bárány ihn beschrieb, entwickelt wurde.

Schmiedekam war 1868 der erste, der im Selbstversuch durch Spülen des Ohres mit kaltem Wasser bei sich selbst intensiven Schwindel erzeugte, der sich nicht einstellte, wenn er wärmeres Wasser verwendete.³⁷⁸ Allerdings glaubte er, daß diese Schwindelanfälle durch Reizung des Ramus auricularis nervi vagi hervorgerufen würden. Bornhardt verwendete 1875/76 zur thermischen Reizung der Bogengänge eine "zum Glühen erwärmte stumpfe Nadel"³⁷⁹ und Eis. Bei solchen Versuchen beobachtete er auch schon Nystagmus.³⁸⁰

Schwabach beschrieb 1878 "Nystagmusartige Augenbewegungen in Folge eines Ohrenleidens."³⁸¹ Ein Patient mit einer chronischen Ohreiterung links gab an, unter Schwindel und "eigenthümlichen Bewegungen der Augen" zu leiden. Schwabach konnte durch Druck auf den Processus mastoideus Schwindel und Nystagmus zum kranken Ohr hin auslösen. Schwabach glaubte, daß die genannten Erscheinungen durch eine Reizung der Bogengänge hervorgerufen wurden und verwies in diesem Zusammenhang auf die Untersuchung³⁸² von Cyon aus dem Jahre 1876, in der Cyon die Beziehung zwischen Bogengängen und Augenmuskelnbewegungen nachweist. Nach Matzker ist Schwabach damit der erste Ohrenarzt, der bei einer Innenohrerkrankung einen Nystagmus festgestellt hat.³⁸³

Diese Beobachtung Schwabachs nahm Pflüger, der große Physiologe und Herausgeber des später nach ihm benannten "Archivs für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere" zum Anlaß, seinerseits auf eine fünf Jahre zurückliegende Beobachtung einer Patientin hinzuweisen, die nach der Entfernung eines Polypen heftigsten Nystagmus zeigte.³⁸⁴ Pflüger hielt zwar Schwabachs Überlegungen für bedenkenswert, glaubte aber

³⁷⁸ "Der Reiz war in diesem Falle nicht durch den Druck, sondern durch die niedere Temperatur des Wassers gegeben." Schmiedekam (1896) S. 49

³⁷⁹ Bornhardt (1875) S.322

³⁸⁰ "...befanden sich die Augäpfel im rechten Winkel der Augenspalten, und bewegten sich sodann stossweise nach links." Bornhardt (1876) S.492

³⁸¹ Schwabach (1878)

³⁸² Französisches Original: Rapports physiologiques entre le nerf acoustique et l'appareil moteur de l'oeil. Comptes rendus de l'Acad. d. Science. (Paris) (1876) 82:856-859. Hier zitiert nach Cyons eigener deutscher Übersetzung unter dem Titel: Physiologische Beziehungen zwischen dem Gehörnerv und dem oculomotorischen Apparate. In: Gesammelte physiologische Arbeiten. Cyon (1888) S.265-267

³⁸³ Matzker (1958) S.530

³⁸⁴ Pflüger (1878)

selber, gestützt auf Hitzig, eher an eine "directe Fortleitung des Reizes auf periphere Gehirntheile."³⁸⁵

Baginsky beobachtete 1881 an Kaninchen, daß Einspritzen von kaltem Wasser (9-15 °C) Nystagmus hervorruft, der bei Verwendung von Wasser mit der normalen Körpertemperatur (37-38 °C) nicht auftrat.³⁸⁶ Er variierte allerdings im weiteren vor allem den Druck der Flüssigkeit und interpretierte insgesamt die Erscheinungen als Konsequenzen einer "Reizung des Gehirns oder eine[r] direct nachweisbare[n] tiefere[n] Läsion desselben"³⁸⁷ und setzte sich damit in Widerspruch zur Lehre von Goltz, Mach und Breuer.

Cohn schrieb noch 1891: "Fälle von Nystagmus bei Ohraffectionen gehören bisher noch zu den größten Seltenheiten", meinte aber im weiteren Verlauf der Arbeit, den Ohrenärzten die Beobachtung der Augen und umgekehrt den Ophthalmologen bei Nystagmus die Beachtung der Ohren nahelegen zu sollen.³⁸⁸ Er war übrigens ein Assistent von Baginsky, und von daher lag eine Deutung des Nystagmus als Symptom einer Hirnaffektion nahe. Man gewinnt bei ihm jedoch den Eindruck, daß er der Auslösung des Nystagmus durch die Bogengänge mehr Wahrscheinlichkeit einräumte.

Kreidl benutzte 1892 den Nystagmus als objektives Bogengangssymptom zur Untersuchung seiner Gehörlosen: "Es ist nun klar, dass diese Augenbewegungen, die einer streng objectiven Untersuchung zugänglich sind, ein wertvolles Reagens abgeben können."³⁸⁹ Als Meßmethode verwendete er das Befühlen der Augäpfel durch die geschlossenen Lider hindurch. Pollak verwendete bei der Beobachtung des Nystagmus schon eine starke Convexbrille, um die Fixation auszuschalten.³⁹⁰

Urbantschitsch beschrieb 1896, daß viele Patienten beim Spülen des Ohres mit Wasser, besonders mit kaltem Wasser, über Schwindel klagten, was "beweist, daß sich außer der Druckeinwirkung auch thermische Reflexeinflüsse [...] geltend machen."³⁹¹ Allerdings wird der thermische Einfluß hier nur als eine Möglichkeit unter vielen aufgeführt.

³⁸⁵ Pflüger (1878) S. 410

³⁸⁶ Baginsky (1881b) S. 202-203

³⁸⁷ Baginsky (1881b) S. 234

³⁸⁸ Cohn (1891)

³⁸⁹ Kreidl (1892) S. 126

³⁹⁰ Pollak (1893) S. 187

³⁹¹ Urbantschitsch (1896) S. 1

Jansen, ein Assistent von Lucae in Berlin, "hat als erster auf die große Bedeutung der Beobachtung des sogenannten spontanen Augennystagmus für die Diagnose der Labyrinthkrankungen hingewiesen"³⁹² Jansen schreibt: "Nahezu regelmäßig sehen wir nystagmusartige Bewegungen. Seit ich dieses Symptom als ein untrügliches Zeichen der Labyrinthkrankung kennen gelernt habe und stets darauf achte, habe ich es bei Labyrinthverletzungen nie vermisst."³⁹³

In diesem Zusammenhang soll auch auf die ausführlichen tierexperimentellen Untersuchungen von Kubo hingewiesen werden, dem aber bereits die wesentlichen Forschungsergebnisse Bárány bekannt waren.³⁹⁴

Die Liste der Arbeiten, die im Rückblick die klinische Vestibularisprüfung vorbereitet haben, ist also recht lang. Natürlich ist die Beobachtung und Qualifizierung des Nystagmus nicht einfach. Ein Verfahren, wie es Högyes zur Registrierung der Augenbewegung bei seinen Kaninchen verwendete, scheidet beim Menschen aus. (Wie weiter oben bereits beschrieben, stach Högyes einen Stern in die Sklera). Das Verfahren, welches Kreidl zur Beobachtung des Nystagmus bei Gehörlosen verwendete, ist vielleicht in einem physiologischen Experiment durchführbar, in der klinischen Routine aber nicht praktikabel.

Bárány beschrieb seine anfängliche Untersuchungsmethode des Nystagmus folgendermaßen: "Zunächst beleuchte ich mittels Stirnreflektor das zu untersuchende Auge, dann komme ich an das Auge so nah heran, daß ich auch jede kleinste Bewegung deutlich sehe."³⁹⁵ Aber bereits ein Jahr später verwendete er auf Empfehlung eines Dr. Abel³⁹⁶ eine spezielle Brille mit undurchsichtigen Gläsern, um die Fixation auszuschalten und den Nystagmus besser beobachten zu können.³⁹⁷ Dies erlaubte ihm sehr exakte Untersuchungen, so daß er auch subtilere Veränderungen des Nystagmus feststellen konnte, so z.B. die "Verstärkung der raschen Komponente des Nystagmus durch Blick in die Richtung der raschen Bewegung, die Hemmung des Nystagmus durch Blick in die Richtung der langsamen Bewegung."³⁹⁸ Erst 1925 stellte Frenzel in Greifswald die später

³⁹² Bárány (1913) S.400-401

³⁹³ Jansen (1898) S. 196

³⁹⁴ Kubo (1906 a,b)

³⁹⁵ Bárány (1906a) S.208

³⁹⁶ Bárány (1907a) S. 481

³⁹⁷ Bárány (1907c) S. 18

³⁹⁸ Bárány (1907d) S. 1133. Die Erklärung für dieses Phänomen gab Bárány folgendermaßen: Er sagt, daß "nur die langsame Bewegung des vestibulären Nystagmus vestibulär bedingt sei, die rasche Komponente aber auf der Bahn der Willkürbewegung zustande komme".

nach ihm benannte Brille vor, mit der noch heute die Beobachtung des Nystagmus in der Vestibularisdiagnostik durchgeführt wird.³⁹⁹

Psychrembel definiert Nystagmus als "unwillkürliche, rhythm., schnell aufeinanderfolgende Zuckungen der Augäpfel."⁴⁰⁰ Er unterscheidet einen Ruck-Nystagmus mit einer schnellen, als Nystagmusrichtung angegebenen Augenbewegung und einer entgegengesetzten langsamen Augenbewegung von einem Pendel-Nystagmus mit in beiden Augenrichtungen gleich schnellen Bewegungen. Bárány bezeichnete den Ruck-Nystagmus als rhythmischen⁴⁰¹, wobei sich unter Ohrenärzten und Physiologen bereits die heutige Richtungsbezeichnung durchgesetzt hatte, während etwa Högyes die Nystagmusrichtung nach der langsamen Komponente, also entgegengesetzt, charakterisierte. So wie man damals erst allmählich den Zusammenhang zwischen Augenbewegungen und Innenohr erkannte, so war auch die Definition des Begriffs "Nystagmus" noch nicht exakt.

³⁹⁹ Frenzel (1925)

⁴⁰⁰ Psychrembel (1982) S.840

⁴⁰¹ Bárány (1906a) S.197-198

7.4 Robert Bárány

Als letzten in der Reihe der Wissenschaftler, die über das Gleichgewichtsorgan forschten, stellt die vorliegende Arbeit Robert Bárány (22.4.1876-8.4.1936) vor. Geboren⁴⁰² von ungarischen Eltern und aufgewachsen in Wien, studierte er Medizin an der dortigen Universität und promovierte am 2.4.1900 mit einer Arbeit über Nystagmus. Nach Aufhalten in Frankfurt a.M., Heidelberg und Freiburg, wo er sich internistisch und neurologisch-psychiatrisch betätigte, trat er am 1.10.1903 in die Ohrenklinik von Politzer in Wien ein. Hier machte er seine vestibularphysiologischen Untersuchungen, für die er später mit dem Nobelpreis



Abb. 17 Robert Bárány

geehrt wurde.⁴⁰³ 1914 meldete sich Bárány freiwillig zum Kriegsdienst und geriet 1915 in russische Gefangenschaft. Dort erreichte ihn auch die Nachricht, daß er mit dem Nobelpreis für Medizin ausgezeichnet worden war, den er aber erst 1916 nach Entlassung aus der Gefangenschaft entgegennehmen konnte.

Am 7. Juni 1905 trug Bárány in der Ophthalmologischen Gesellschaft in Wien seine Entdeckung vor, daß beim Ausspritzen eines Ohres mit Wasser oberhalb der Körpertemperatur bei einem Ohr mit intakten Bogengängen ein Nystagmus ausgelöst wird, der sich bei Verwendung von Wasser unterhalb der Körpertemperatur umkehrt.⁴⁰⁴ Diese

⁴⁰² Die Literatur gibt abwechselnd Wien (Editorial (1965), Majer (1976), Holmgren (1936)) oder Rohonc in Ungarn (Nylen (1965), Pappas (1984)) als seinen Geburtsort an.

⁴⁰³ Bárány (1906a,b, 1907a,b,c,d, 1908,1909,1913)

⁴⁰⁴ Goerke referiert diesen Vortrag im Internationalen Centralblatt für Ohrenheilkunde (1906) 4:9-10.

Erkenntnis baute er im weiteren Verlauf seiner Forschungen aus und führte systematische Untersuchungen durch. In seiner wichtigen Veröffentlichung aus dem Jahr 1906 über "Untersuchungen [...] an 200 Normalen, Ohrenkranken und Taubstummen"⁴⁰⁵ beschreibt er die Auswirkung von Spülungen des Ohres mit warmem und kaltem Wasser auf den Nystagmus:

"Spritzt man z.B. das rechte Ohr bei aufrechter Kopfhaltung mit Wasser unter Körpertemperatur aus, so tritt ein nach links gerichteter, vorwiegend rotatorischer, fast stets aber auch mit einer horizontalen Komponente gemischter Nystagmus auf. [...] Dieser Nystagmus läßt sich von jedem Ohr aus, dessen Vestibularapparat intakt ist, auch bei intaktem Trommelfell, hervorrufen.[...]"

Nimmt man zum Ausspritzen Wasser über Körpertemperatur, so tritt der entgegengesetzte Nystagmus, wie bei Ausspritzen mit kaltem Wasser auf.[...]"

Nimmt man Wasser genau von Körpertemperatur, so tritt bei noch so langem Ausspritzen und bei noch so empfindlichen Personen niemals Nystagmus oder Schwindel auf."⁴⁰⁶

Die Erklärung dieses Effekts sieht er in dem unterschiedlichen spezifischen Gewicht von kalter und warmer Flüssigkeit, die zu einer Flüssigkeitsbewegung im Labyrinth und damit zu einer Reizung der Ampullarnerven führt:

"Betrachtet man das Labyrinth als ein mit 37° warmer Flüssigkeit gefülltes Gefäß, dessen laterale Wand z.B. kalt angespritzt wird, so muß in der Flüssigkeit des Gefäßes eine Bewegung entstehen, indem die der lateralen Wand zunächst gelegenen Flüssigkeitsteilchen zunächst abgekühlt werden und spezifisch schwerer geworden, dem Boden des Gefäßes zustreben, während warm gebliebene Flüssigkeit vom Boden des Gefäßes aufsteigt. Es muß auf diese Weise eine Zirkulation der Flüssigkeit eintreten, [...] Ganz allgemein müssen zwei Stellungen des Gefäßes, die um 180° verschieden sind, genau entgegengesetzte Flüssigkeitsbewegungen zeigen. Genau denselben Effekt wie die Umkehrung des Gefäßes um 180° muß die Verwendung von heißem Wasser (über 37°) zum Ansp[r]itzen haben."⁴⁰⁷

Auch wenn die Begründung für den Effekt der kalorischen Spülung heute angezweifelt wird, ist mit der Beschreibung dieses Effekts die Diskussion, ob der Vestibularapparat ein Gleichgewichtsorgan ist oder nicht, zu Ende. Nur wenige Außenseiter waren noch anderer Ansicht. Mit der kalorischen Spülung gab Bárány den Ohrenärzten ein diagnostisches Verfahren an die Hand, mit dem sie den Zustand des Gleichgewichtsorgans jedes einzelnen Ohres überprüfen konnten. Mit dem Gleichgewichtsorgan beschäftigte man sich jetzt nicht mehr nur akademisch-wissenschaftlich, sondern ganz praktisch in der Sprechstunde der Ohrenärzte. Bereits im Jahr 1907 kann Politzer in seinem Geleitwort zu Báránys klassischem Buch "Physiologie und Pathologie (Funktions-Prüfung) des

⁴⁰⁵ Bárány (1906a) S.229

⁴⁰⁶ Bárány (1906a) S.230-231

⁴⁰⁷ Bárány (1906a) S.235-236

Bogengangsapparates beim Menschen"⁴⁰⁸ schreiben: "Durch die Untersuchungen Dr. Bárány's ist die Klinik dieses Sinnesorganes in ein neues Stadium getreten und die Diagnostik der in der Ohrenheilkunde so wichtigen Erkrankungen des Bogengangsapparates auf eine sichere Grundlage gestellt worden."

In der weiteren Forschung ging es nun nicht mehr um die prinzipielle Frage der Funktion des Vestibularapparates als Gleichgewichtsorgan, das den Bewegungszustand perzipiert, sondern um die genaue Erklärung der Effekte. Bárány setzte sich wiederum mit Breuer auseinander, indem er sogar so weit ging, die Mach-Breuersche Theorie ablösen zu wollen⁴⁰⁹. Er betonte im Gegensatz zu Mach und Breuer stärker die Funktion des die Einflüsse der beiden Vestibularorgane koordinierenden Mittelhirns als eine beständig tonisierend auf die Augenmuskeln einwirkende Größe. Dies erscheint vielleicht auf den ersten Blick wie ein Rückschritt in die Zeit Purkyněs, ist jedoch, näher betrachtet, nur eine Diskussion über Details der exakten, komplizierten Physiologie des Gleichgewichts. Daß auch Bárány's Erklärungsversuche des kalorischen Nystagmus keineswegs selbstverständlich sind, zeigen die in jüngster Zeit durchgeführten Versuche in der Schwerelosigkeit des Weltalls.⁴¹⁰

Trotz oder vielleicht gerade wegen der Auszeichnung Bárány's mit dem Nobelpreis wurden im weiteren Verlauf an der Wiener Universität einige unschöne Auseinandersetzungen um die Person Bárány's und sein Vorgehen bei der Entdeckung des kalorischen Nystagmus geführt. Bárány wurde 1916 für eine Professur an der medizinischen Fakultät vorgeschlagen, ein Vorschlag, der jedoch abgelehnt wurde. Es war ein ganz und gar unüblicher Vorgang, daß der Nobelpreisträger Bárány als Professor abgelehnt wurde, und noch ungewöhnlicher war die Begründung für diese Ablehnung: Bárány soll in einigen Punkten bei der Veröffentlichung seiner Ergebnisse nicht korrekt vorgegangen sein.

Zwei Personen spielten bei diesen Vorwürfen eine besondere Rolle, Josef Breuer und Heinrich Neumann, ein ohrenärztlicher Kollege in der Abteilung Politzer's. Bei Breuer soll Bárány dessen Priorität bei der Entdeckung des kalorischen Nystagmus nicht beachtet haben. In dem Kapitel über den Nystagmus wurde erläutert, daß Breuer zwar das Ohr durch thermische Reize mittels Wasserspülung erregt hatte, aber, wie er selbst sagte, hatte er "vor Bárány's Mitteilung der kalorischen Reaktion von der Sache keine Ahnung."⁴¹¹ Auch seinem Kollegen Heinrich Neumann gegenüber soll Bárány sich illoyal verhalten

⁴⁰⁸ Bárány (1907c)

⁴⁰⁹ Bárány (1907a) S. 518 "Es erscheint angezeigt, die Breuer-Mach'sche Theorie nicht zu modifizieren, sondern durch eine neue Theorie zu ersetzen."

⁴¹⁰ Clarke (1993)

⁴¹¹ Zit. nach Wycklicky (1986) S. 623

haben. Wodak berichtet die so häufig erzählte Anekdote⁴¹², nach der bei einem gemeinsamen Mittagessen von Neumann (oder Alexander, einem weiteren Mitarbeiter der Politzerschen Ohrenklinik) die Bemerkung fiel, daß es interessant sei zu untersuchen, ob sich bei Ausspülungen des Ohres mit heißem Wasser der beobachtete Nystagmus nicht vielleicht umkehre. Bárány soll das sogleich nach dem Essen ausprobiert und das Ergebnis den beiden Kollegen mitgeteilt haben. Neumann soll 1920 bezüglich dieses Vorwurfs ähnlich wie Breuer erklärt haben, "daß er niemals irgendwelche Prioritätsansprüche erhoben habe"⁴¹³.

Es ist hier nicht der Raum, diese Auseinandersetzung zu werten oder gar aufzuklären, aber einige Punkte sollen doch erwähnt werden. Auch wenn die Auseinandersetzung so hohe Wellen schlug, daß sie sogar in der Tagespresse besprochen wurde, kam es doch offiziell zu keiner endgültigen und offenen Klärung der Vorwürfe. Ein von Bárány gegen sich selbst angestrebtes Disziplinarverfahren wurde ohne Ergebnis eingestellt, nachdem er 1917 einen Ruf als Professor an die Universität in Uppsalla annahm. So ging er in das Land, in dem ihm der Nobelpreis verliehen worden war. Gerade die schwedischen Otologen haben immer deutlich für Bárány Partei ergriffen, so etwa 1921, als sie in einer Veröffentlichung in den *Acta Oto-Laryngologica* die Wiener Universität ob dieser Vorgänge heftig angriffen.⁴¹⁴ Noch im Jahr 1984 wurde von Herman Diamant aus Schweden dieses Thema wieder aufgegriffen.⁴¹⁵ Ernst Wodak versuchte als einer, der die Beteiligten noch erlebt hatte, einige persönliche Bemerkungen beizutragen, "um die psychologischen Hintergründe aufzuzeigen". Er schrieb: "Bárány war ein geborener Forscher, ein Fanatiker der Wissenschaft, der wie jeder Fanatiker monoman war. [...] Wien hatte sich geweigert, diesem Manne den Professorentitel zu verleihen."⁴¹⁶

⁴¹² Wodak (1956) S. 14

⁴¹³ Zit. nach Wodak (1956) S. 16, s.a. Wycklicky (1986) S. 624

⁴¹⁴ Burger (1921)

⁴¹⁵ Diamant (1984)

⁴¹⁶ Wodak (1956) S. 17

8. Zusammenfassung

Die Geschichte der Vestibularisforschung beginnt mit Purkyně und seiner Veröffentlichung "Beiträge zur näheren Kenntniss des Schwindels aus heautognostischen Daten" aus dem Jahre 1820.⁴¹⁷ In dieser Arbeit beschrieb Purkyně seine Ergebnisse anhand von exakt geplanten, durchgeführten und dokumentierten Experimenten über den "Bewegungsschwindel". Diese Schwindelerscheinungen rief er durch Selbstversuche in Drehtühlen o.ä. hervor, lokalisierte den Auslöser dieser Erscheinungen im Kopf und machte aus diesem Grunde Veränderungen des Gehirns für die Schwindelerscheinungen verantwortlich.

Einige Jahre darauf erschienen die Arbeiten von Flourens, der Experimente an den Bogengängen vor allem bei Tauben durchführte und nach Zerstörung der Bogengänge eigenartige, für die Zerstörung charakteristische Bewegungsstörungen bei den Tauben beobachtete.⁴¹⁸ Purkyně kannte die Flourensschen Experimente und sah auch einen Zusammenhang mit seinen eigenen Untersuchungen über den Schwindel und das Gleichgewicht, zog aber nicht konsequent genug die Schlußfolgerung. Mit Purkyně und Flourens lagen aber die wesentlichen Hinweise zur Deutung der beobachteten Phänomene vor.

Ménière trug 1861 einen bedeutenden klinischen Aspekt bei, als er die nach ihm benannte Symptomentrias des Morbus Meniere beschrieb und die dieser Erkrankung zugrunde liegende Störung in den Bogengängen lokalisierte.⁴¹⁹ Eine Verbindung zu Purkyně oder Flourens stellte Ménière jedoch nicht her.

Eine Zäsur in der Vestibularisforschung bedeutete die Arbeit von Goltz aus dem Jahre 1870.⁴²⁰ Nach Experimenten an Tauben, die den Flourenschen Versuchen ähnelten, erkannte er die angebliche Hörfunktion aller Bestandteile des Innenohrs als ungeprüfte Hypothese und behauptete, daß die Bogengänge ein Gleichgewichtsorgan darstellen.

⁴¹⁷ Purkyně

⁴¹⁸ Flourens (1824)

⁴¹⁹ Blumenbach (1955)

⁴²⁰ Goltz (1870)

Diese These wurde untermauert und in ihrer physiologischen Funktionalität begründet durch die um den Jahreswechsel 1873/1874 zeitgleich erschienenen Arbeiten von Mach und Breuer, die sowohl aufgrund theoretischer Überlegungen als auch von Experimenten die These von Goltz stützten.⁴²¹ Sie sahen in den Bogengängen ein Organ zur Beurteilung von Drehbewegungen des Kopfes. Der auslösende Reiz für die Bogengänge sei eine durch die Drehung verursachte Endolymphströmung. Mach kam zu seinen Ergebnissen durch Rotationsexperimente auf selbstkonstruierten Drehgestellen ähnlich den Purkynjeschen Versuchen, während Breuer ähnlich wie Flourens mit Tieren arbeitete. Im Jahre 1875 erschien Machs "Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen", so daß eine brauchbare Theorie zur Funktion der Bogengänge vorlag.

In der Folgezeit wurde diese Theorie jedoch stark kontrovers diskutiert. Vielen schien die Forderung nach einem bisher unbekannten Sinnesorgan einfach zu unwahrscheinlich. Im Rahmen dieser Auseinandersetzungen wurde die experimentelle Methodik weiter verbessert, die Untersuchungen auf viele Tierarten ausgedehnt und die Theorie insgesamt weiter ausgebaut und verfeinert. Bedeutende Arbeiten kamen von Ewald, der äußerst präzise und subtile Tierexperimente durchführte, um vor allem den Vorwurf zu entkräften, die den Bogengängen zugeschriebenen Erscheinungen des Schwindels seien von den Experimentatoren durch Verletzungen des Gehirns hervorgerufen worden. Er legte seine Arbeiten vor allem in dem Buch "Physiologische Untersuchungen über das Endorgan des Nervus octavus" aus dem Jahre 1892 nieder.⁴²² In diesem Buch entwickelte er auch ein Konzept vom Tonuslabyrinth, was bedeutete, daß vom Labyrinth ständige tonisierende Einflüsse auf die quergestreifte Muskulatur ausgehen sollten. Ausfall des Labyrinths sollte mit einer Schläffheit der Muskulatur einhergehen.

Der Ungar Högyes führte 1881 Untersuchungen zu der Verbindung der Drehempfindung und des Augennystagmus durch und war somit der späteren Verwertung des Augennystagmus zur Vestibularisdiagnostik schon sehr nahe.⁴²³ Im Jahr darauf erschien eine Arbeit des Amerikaners James. Dieser wies nach, daß einige Hörbehinderte beim Tauchen unter Wasser, wenn die Schwerkraft nicht zu spüren ist, eine völlige Orientierungslosigkeit empfinden.⁴²⁴ Dies war ein Hinweis auf eine deutliche Fehlfunktion bei Ausfall der Bogengänge beim Menschen.

⁴²¹ Breuer (1874a), Mach (1873)

⁴²² Ewald (1892)

⁴²³ Högyes (1912)

⁴²⁴ James (1882)

Von den Verfechtern der neuen Theorie über das Gleichgewichtsorgan wurde natürlich konsequenterweise überlegt, ob dann die Tiere, die nicht über eine Schnecke verfügen, überhaupt hören können, und ob nicht die Gleichgewichtsfunktion des Ohres die phylogenetisch ältere gewesen ist, aus der sich die Hörfunktion unter Nutzung ähnlicher Rezeptionsorgane erst später entwickelte. In dieser Frage wurde von Kreidl ein Experiment mit Krebsen durchgeführt, denen nach ihrer Häutung als wieder in die Ohren einzuführende Otolithen Eisenkristalle angeboten wurden.⁴²⁵ Experimente mit einem Magneten erwiesen die Gleichgewichtsfunktion der Otolithenorgane bei den Krebsen.

Insgesamt blieb die Frage jedoch trotz der neuen Experimente weiter strittig. Auch die Otologen, also die klinischen Ohrenärzte, bezogen in ihrer Gesamtheit nicht eindeutig Stellung. Einige schienen die „Mach/Breuersche Theorie“ akzeptieren zu können, andere wiederum „glaubten“ wenig daran. Beendet wurde die Diskussion durch die Arbeiten von Bárány in Wien, der 1906 mit der klinischen Vestibularisprüfung den Ohrenärzten ein Instrument an die Hand gab, den Funktionszustand des Vestibularapparats zu überprüfen.⁴²⁶ Bárány erhielt für seine Arbeiten den Nobelpreis und mit seinen Arbeiten wurde die Vorstellung eines Gleichgewichtsorgans im Innenohr allgemein akzeptiert.

Man hat also in dem hier betrachteten Zeitraum des 19. Jahrhunderts die Bogengänge des Innenohrs als Gleichgewichtsorgane erkannt, die Symptome der Gleichgewichtsphysiologie beschrieben und diese Erkenntnisse für den klinischen Einsatz nutzbar gemacht. Noch viele Detailfragen blieben offen. So hatte man nur wenig Kenntnisse über den zugrunde liegenden Rezeptor und auch die Funktion der Otolithenorgane war weitgehend ungeklärt. Es war jedoch die Basis gelegt für die weitergehenden Arbeiten des 20. Jahrhunderts, die sich auch bis in die heutige Zeit erstrecken.

⁴²⁵ Kreidl (1893a)

⁴²⁶ Bárány (1907c)

9. Schlußbemerkung

Wissenschaftler mit unterschiedlichen und sehr gegensätzlichen Charakteren haben die Geschichte der Vestibularisforschung geprägt. Von vielen verschiedenen Seiten wurde versucht, einer Lösung der strittigen Punkte näher zu kommen. Es stellt sich jedoch die Frage, ob man außer interessanten Charakteren und deren damaligen Fragestellungen und Forschungsmethoden, also außer historischen Einsichten auch Anregungen für die heutige wissenschaftliche Arbeit bekommt.

Vor 100 Jahren war die Wissenschaft verschieden von der heutigen, wenn es auf der anderen Seite ohne Zweifel auch schon zahlreiche Ähnlichkeiten gibt. Es kommt zur Zeit selten vor, daß Wissenschaftler aus so unterschiedlichen Bereichen Beiträge zu demselben Thema leisten und daß dabei jeder den anderen verstehen, ihm mit fundierten Argumenten zustimmen oder ihn widerlegen kann. Die Vestibularisforschung ist also ein frühes Beispiel für geglückte interdisziplinäre Zusammenarbeit. Ein Mediziner, der später als Professor für Physik arbeitet (Helmholtz), ein Physiker, der sinnesphysiologische Experimente durchführt und später einen philosophischen Lehrstuhl innehat (Mach), ein praktischer Arzt, der in den Abendstunden physiologische Forschung von Weltrang betreibt und den Grundstein zur Psychoanalyse legt (Breuer), ein Meeresbiologe, der Experte für Hörphysiologie ist (Hensen). Aufgrund der immer weiter fortschreitenden Spezialisierung scheint so etwas heute kaum noch realisierbar. Freilich wurde zum Thema auch damals schon viel Unbrauchbares geschrieben, wünschte man sich eine strengere Gliederung der Veröffentlichungen nach Material, Methode, Ergebnissen und Diskussion.

Man wird sagen dürfen, daß die Geschichte der Vestibularisforschung ein Beispiel naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns darstellt. Sie zeigt, daß auch in den angeblich rationalen Naturwissenschaften irrationale Glaubenskämpfe um die richtige Lehre geführt werden. Ewald schreibt 1887 in seiner ersten Veröffentlichung zur Physiologie der Bogengänge: "Es gibt wohl keinen zweiten Fall in der Geschichte der Physiologie, bei dem in gleicher Weise, wie hier die Beobachter durch vorgefasste Meinungen befangen waren."⁴²⁷ Es zeigt sich, wenn man an die Annahme unterschiedlicher Rezeptionsorgane für Töne und Geräusche denkt, die durch den mathematischen Unterschied zwischen einer

⁴²⁷ Ewald (1887) S. 463

Summenbildung und einem Integral gestützt wird, daß die Natur kein Mathematikstudium absolviert hat, sondern daß Mathematik, Physik und Biologie unsere Modelle zur Beschreibung der Wirklichkeit sind. Diese Erkenntnis bedeutet schon sehr viel und die Erfolge in Technik und Medizin zeigen die Fruchtbarkeit dieses Konzepts. Trotzdem oder gerade deshalb sollte man die Grenzen der Naturwissenschaften beachten. Auch wenn wir mit dem Flugzeug fliegen können, haben wir dadurch die Welt noch nicht verstanden. Natürlich liegt gerade der Bereich der Sinnesphysiologie näher an unserer Beziehung zur Welt und Wirklichkeit als der Bereich der Ingenieurwissenschaften, und wir können hoffen, hier etwas über unser Sein zu erfahren, was ja Wissenschaftler wie Purkyně, Mach und andere auch so fasziniert hat. Aber wenn die Grenzen der eigenen Wissenschaft nicht erkannt werden, wenn von einem besonders geformten Stück Knochen im Ohr die Lösung grundlegender philosophischer Probleme erwartet wird, so wirkt eine solche Einstellung lächerlich und diskreditiert die Naturwissenschaften.

Es bleibt die entscheidende Frage, warum es fünfzig Jahre dauerte, bis sich die Goltzsche Auffassung durchsetzen konnte. Sicherlich liegen diese Schwierigkeiten auch in dem speziellen Forschungsgegenstand begründet:

1. Die Bewegungsempfindungen lassen sich nicht abstellen⁴²⁸ und daraus folgt, daß die Untersuchung der Effekte eines einzelnen Bogengangs äußerst schwierig ist.
2. Das Denken in drei Raumdimensionen und die Versuche an sechs Bogengängen und deren Verknüpfungen überfordern häufig die Vorstellungskraft.
3. Die gemeinsame Reizung aller drei Bogengangpaare zusammen führt zu Bewegungen der Augen in jeder möglichen Ebene. Falls man nicht genau in der Ebene des untersuchten Bogengangpaares dreht, treten, den verschiedenen, gereizten Bogengängen entsprechend, Kombinationen von Empfindungen auf, die sich nicht decken und deshalb zu unentwirrbaren Gesamtbildern führen.

Dies allein kann jedoch die lange Zeit der kontroversen Diskussion nicht erklären, die erst zum Erliegen kam mit dem Aufstellen der klinischen Funktionsprüfung des Vestibularapparates. Solange die Frage von Grundlagenmediziner (Physiologen, Anatomen) erforscht wurde und ohne klinische Anwendung blieb, überwog die Skepsis der Kliniker. Als aber eine Methode zur Verfügung stand, mit der jeder Kliniker selbst den Nystagmus auslösen und diagnostisch verwerten konnte, wurde auch die dem zugrunde liegende Theorie akzeptiert. Es zeigt sich also, daß die Medizin doch eine stark klinisch orientierte Wissenschaft ist.

⁴²⁸ Vgl. Bárány (1906a) S.282: "Auch ist dies das einzige Sinnesorgan, dessen Erregungen wir nicht ohne weiteres willkürlich ausschalten können. Dies ist wohl der Hauptgrund, warum es so spät als Sinnesorgan entdeckt wurde."

Verzeichnis der Abbildungen:

Abb. 1 Schema der Bogengänge	13
Abb. 2 Marie Jean Pierre Flourens	20
Abb. 3 Jan Evangelista Purkyně	26
Abb. 4 Prosper Ménière	31
Abb. 5 Friedrich Goltz	35
Abb. 6 Machs Rotationsmaschine	42
Abb. 7 Ernst Mach	45
Abb. 8 Josef Breuer	49
Abb. 9 Andreas Högyes	58
Abb. 10 Högyes' Hasendrehbank	59
Abb. 11 Ernst Julius Richard Ewald	62
Abb. 12 Taubenhalter	64
Abb. 13 Der pneumatische Hammer	65
Abb. 14 Elie von Cyon	68
Abb. 15 Kreidls Drehapparat	95
Abb. 16 Kreidls Zeigerapparat	96
Abb. 17 Robert Bárány	108

Literaturverzeichnis:

Eine Einteilung der Literatur in Primär- und Sekundärliteratur wurde für sinnvoll gehalten. Diese Einteilung ist aber nicht immer eindeutig. So sind z.B. einige Veröffentlichungen von Bárány, die die Entwicklung der Vestibularisforschung skizzieren, Sekundärquellen bzgl. dieser Entwicklung, aber andererseits Primärquellen bzgl. Bárány's Einschätzung der Leistungen seiner Kollegen. Um Eindeutigkeit zu erzielen und dem Leser das Auffinden der Literatur zu erleichtern, wurde eine Einteilung nach dem Erscheinungsjahr der Literatur gewählt, und hierbei das Jahr 1920 als Grenze gewählt. Der erste Teil des Literaturverzeichnisses, der die Literatur bis zum Jahr 1920 nachweist, enthält also zum größten Teil die Primärquellen, während der zweite Teil des Verzeichnisses mit der Literatur nach 1920 zum größten Teil Sekundärliteratur enthält.

Die zitierten Zeitungen wurden mit vollem Titel aufgeführt, um das Literaturverzeichnis ohne Referenz auf irgendwelche Abkürzungsverzeichnisse lesen zu können. Eine Ausnahme wurde bei sehr häufig zitierten Zeitschriften gemacht, deren Abkürzungen in der Tabelle gegeben sind:

Arch.Ohr.	Archiv für Ohrenheilkunde
Arch.Phys.	Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere
MMW	Münchener medizinische Wochenschrift
Mon.Ohr.	Monatsschrift für Ohrenheilkunde
Sb	Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften (Wien)
Zs.Psych.Phys.	Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinesorgane

Literatur vor 1920:

- Ach (1901) Ach, Narziss. Über die Otolithenfunction und den Labyrinthonus. Arch.Phys. (1901) 86:122-146
- Alexander (1900) Alexander, G. u. Kreidl, A. Zur Physiologie des Labyrinths der Tanzmäuse. Arch.Phys. (1900) 82:541-552
- Alexander (1902a) Alexander, G. u. Kreidl, A. Anatomisch-physiologische Studien über das Ohrlabyrinth der Tanzmaus. Arch.Phys. (1902) 88:509-574
- Alexander (1902b) Alexander, G. u. Kreidl, A. Ueber die Beziehungen der galvanischen Reaction zur angeborenen und erworbenen Taubstummheit. Arch.Phys. (1902) 89:475-492
- Alexander (1904) Alexander, G., Bárány, R. Psychophysiologische Untersuchungen über die Bedeutung des Statolithenapparates für die Orientierung. Zs.Psych.Phys. (1904) 37:321-457
- Arnheim (1887) Arnheim, Felix. Beiträge zur Theorie der Localisation von Schallempfindungen mittels der Bogengänge. Dissertation Jena (1887)
- Aubert (1886) Aubert, Hermann. Die Bewegungsempfindung. Arch.Phys. (1886) 39:347-370
- Aubert (1887) Aubert, Hermann. Die Bewegungsempfindung. Arch.Phys. (1887) 40:459-480. Nachtrag zu dem Artikel 623-624
- Aubert (1888) Aubert, Hermann. Physiologische Studien über die Orientierung unter Zugrundelegen von Yves Delage Etudes experimentales sur les illusions statique et dynamiques de direction pour servir. Laupp, Tübingen (1888)
- Baginsky (1881a) Baginsky, Benno. Die Function der Bogengänge des Ohrlabyrinthes. Biologisches Centralblatt. (1881) 1:438-446
- Baginsky (1881b) Baginsky, Benno. Über die Folgen von Drucksteigerungen in der Paukenhöhle und die Function der Bogengänge. Archiv .für Anatomie und Physiologie. Physiologische Abt. (1881) 201-235
- Baginsky (1885a) Baginsky, Benno. Über den Ménière'schen Symptomencomplex und die durch Cerebral-Erkrankungen bedingten Gleichgewichtsstörungen. Berliner klinische Wochenschrift (1885) 22:70-72 s.a. 151-153
- Baginsky (1885b) Baginsky, Benno. Zur Physiologie der Bogengänge. Archiv .für Anatomie und Physiologie. Physiologische Abt. (1885) 253-266
- Baginsky (1888) Baginsky, Benno. Über den Ménière'schen Symptomencomplex. Berliner klinische Wochenschrift (1888) 25:904-907, 930-933
- Bárány (1906a) Bárány, Robert. Untersuchungen über den vom Vestibularapparat des Ohres reflektorisch ausgelösten rhythmischen Nystagmus und seine Begleiterscheinungen. Monatsschrift für Ohrenheilkunde (1906) 40:193-297
- Bárány (1906b) Bárány, Robert. Über die vom Ohrlabyrinth ausgelöste Gegenrollung der Augen bei Normalhörenden, Ohrenkranken und Taubstummten. Archiv für Ohrenheilkunde (1906) 68:1-30
- Bárány (1907a) Bárány, Robert. Weitere Untersuchungen über den vom Vestibularapparat des Ohres reflektorisch ausgelösten rhythmischen Nystagmus und seine Begleiterscheinungen. Monatsschrift für Ohrenheilkunde (1907) 41:477-526
- Bárány (1907b) Bárány, Robert. Beitrag zur Lehre von den Funktionen der Bogengänge. Zs.Psych.Phys. (1907) 41:37-44
- Bárány (1907c) Bárány, Robert. Physiologie und Pathologie (Funktions-Prüfung) des Bogengang-Apparates beim Menschen. Deuticke, Leipzig (1907)

- Bárány (1907d) Bárány, Robert. Die Untersuchungen der reflektorischen vestibulären und optischen Augenbewegungen und ihre Bedeutung für die topische Diagnostik der Augenmuskellähmungen. M.M.W. (1907) 1072-1075, 1132-1135
- Bárány (1908) Bárány, Robert. Die Untersuchungen der optischen und vestibulären reflektorischen Augenbewegungen in einem Falle von einseitiger Blicklähmung. Monatsschrift für Ohrenh. (1908) 42:109-113
- Bárány (1909) Bárány, Robert. Funktionelle Diagnostik der eitrigen Erkrankungen des Bogengangsapparates. Sammelreferat. Internationales Zentralblatt für Ohrenheilkunde. (1909) 7:1-26,57-92
- Bárány (1913) Bárány, Robert. Der Schwindel und seine Beziehungen zum Bogengangsapparat des inneren Ohres. Bogengangsapparat u. Kleinhirn. (Historische Darstellung. Eigene Untersuchungen.). Die Naturwissenschaften (1913) 1: 396-401, 425-428
- Bechterew (1882) Bechterew, W. Über die functionelle Beziehung der unteren Olive zum Kleinhirn und die Bedeutung derselben für die Erhaltung des Körpergleichgewichts Arch.Phys. (1882) 29:257-265
- Bechterew (1883a) Bechterew, W. Ergebnisse der Durchschneidung des N. acusticus nebst Erörterung der Bedeutung der semicirculären Canäle für das Körpergleichgewicht. Arch.Phys. (1883) 30:312-347
- Bechterew (1883b) Bechterew, W. Zur Physiologie des Körpergleichgewichts. Arch.Phys. (1883) 31:479-530
- Bechterew (1884a) Bechterew, W. Über die Function der Vierhügel. Arch.Phys. (1884) 33:413-439
- Bechterew (1884b) Bechterew, W. Über die Verbindung der sogenannten peripheren Gleichgewichtsorgane mit dem Kleinhirn. Arch.Phys. (1884) 34:362-388
- Bechterew (1887) Bechterew, W. Zur Frage über den Ursprung des Hörnerven und über die physiologische Bedeutung des N. vestibularis. Neurologisches Centralblatt (1887) 6:192-199
- Bechterew (1890) Bechterew, W. Über die Erscheinungen, welche die Durchschneidung der Hinterstränge des Rückenmarkes bei Thieren herbeiführt und über die Beziehungen dieser Stränge zur Gleichgewichtsfuction. Archiv .für Anatomie und Physiologie. Physiologische Abt. (1890) 489-504
- Beer (1898) Beer, Theodor. Vergleichend-physiologische Studien zur Statocystenfunction I. Arch.Phys. (1898) 73:1-41
- Beer (1899) Beer, Theodor. Vergleichend-physiologische Studien zur Statocystenfunction II. Arch.Phys. (1899) 74:364-382
- Bernstein (1894) Bernstein, J. Über die spezifische Energie des Hörnerven. Die Wahrnehmung binauraler (diotischer) Schwebungen und die Beziehungen der Hörfuction zur statischen Function des Ohrlabyrinths Arch.Phys. (1894) 57:475-494
- Bernstein (1895) Bernstein, J. Über das angebliche Hören labyrinthloser Tauben. Arch.Phys. (1895) 61:113-122
- Berthold (1875) Berthold. Über die Function der Bogengänge des Ohrlabyrinths. Arch.Ohr. (1875) 9:77-95
- Bethe (1894) Bethe, A. Über die Erhaltung des Gleichgewichts. Biologisches Centralblatt (1894) 14:95-114, 563-582
- Bethe (1899) Bethe, A. Die Locomotion des Haifisches (Scyllium) und ihre Beziehungen zu den einzelnen Gehirnteilen und zum Labyrinth. Arch.Phys. (1899) 76:470-493
- Bickel (1897a) Bickel, Adolf. Beiträge zu der Lehre von den Bewegungen der Wirbelthiere. Arch.Phys. (1897) 65:231-248
- Bickel (1897b) Bickel, Adolf. Über den Einfluss der sensiblen Nerven und der Labyrinth auf die Bewegungen der Thiere. Arch.Phys. (1897) 67:299-344, 345-348

Blau (1900)	Blau, Lois. Encyclopädie der Ohrenheilkunde. Vogel, Leipzig (1900)
Böttcher (1873)	Böttcher, Arthur. Kritische Bemerkungen und neue Beiträge zur Literatur des Gehörlabyrinths. <i>Dorpater medicinische Zeitschrift</i> (1873) 3:97-184
Böttcher (1875)	Böttcher, Arthur. Über die Durchschneidung des Gehörorgans und die sich daran anschließenden Hypothesen. <i>Arch.Ohr.</i> (1875) 9:1-71
Böttcher (1883)	Böttcher, Arthur. Cotugno, der Aquaeductus vestibuli und einige neuere Autoren über das häutige Labyrinth. <i>Arch.Ohr.</i> (1883) 19:148-158
Böttcher (1887a)	Böttcher, Arthur. Rückblick auf die neueren Untersuchungen über den Bau der Schnecke im Anschluss an eigene Beobachtungen. <i>Arch.Ohr.</i> (1887) 24
Böttcher (1887b)	Böttcher, Arthur. Besprechung von Schwalbes Lehrbuch der Anatomie der Sinnesorgane und von Baginsky's Veröffentlichung: Zur Entwicklung der Gehörschnecke. <i>Arch.Ohr.</i> (1887) 24:300-331
Bornhardt (1875)	Bornhardt, A. Zur Frage über die Function der Bogengänge des Ohrlabyrinths. <i>Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften</i> (1875) 13:321-322
Bornhardt (1876)	Bornhardt, A. Experimentelle Beiträge zur Physiologie der Bogengänge des Ohrlabyrinths. <i>Arch.Phys.</i> (1876) 12:471-521
Breuer (1874a)	Breuer, Josef. vorläufige Mittheilung. <i>Anzeiger der k.k. Gesellschaft der Ärzte in Wien</i> (1874) 15-18
Breuer (1874b)	Breuer, Josef. Über die Function der Bogengänge des Ohrlabyrinthes. <i>Medizinische Jahrbücher der k.k. Gesellschaft der Ärzte</i> (1874) 72-124
Breuer (1875a)	Breuer, Josef. Zur Lehre vom statischen Sinn (Gleichgewichtsorgan). Vorläufige Mittheilung. <i>Anzeiger der k.k. Gesellschaft der Ärzte in Wien</i> (1875) 31-33
Breuer (1875b)	Breuer, Josef. Beiträge zur Lehre vom statischen Sinn (Gleichgewichtsorgan, Vestibularapparat des Ohrlabyrinths). <i>Medizinische Jahrbücher der k.k. Gesellschaft der Ärzte</i> (1875) 87-156
Breuer (1889)	Breuer, Josef. Neue Versuche an den Ohrbogengängen. <i>Arch.Phys.</i> (1889) 44:135-152
Breuer (1891)	Breuer, Josef. Über die Function der Otolithen-Apparate. <i>Arch.Phys.</i> (1891) 48:195-306
Breuer (1894)	Breuer, Josef. Besprechung von Ewald (1892) in <i>Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinne</i> (1894) 7:48-56
Breuer (1897)	Breuer, Josef. Ueber Bogengänge und Raumsinn. <i>Arch.Phys.</i> (1897) 68:596-648
Breuer (1898a)	Breuer, Josef; Kreidl, Alois. Über die scheinbare Drehung des Gesichtsfeldes während der Einwirkung einer Centrifugalkraft. <i>Arch.Phys.</i> (1898) 70:494-510
Breuer (1898b)	Breuer, Josef. Berichtigung. <i>Arch.Phys.</i> (1898) 72:216-220
Breuer (1900)	Breuer, Josef. Über die Bogengangsampullen. <i>Wiener klinische Wochenschrift</i> (1900) 13:512
Breuer (1903)	Breuer, Josef. Studien über den Vestibularapparat. <i>Sb. Abt. III</i> (1903) 112:315-394
Breuer (1907)	Breuer, Josef. Über das Gehörorgan der Vögel. <i>Sb. Abt. 3</i> , 116:249-291
Brown (1909)	Brown, T. Graham. Die Atembewegung des Frosches und ihre Beeinflussung durch die nervösen Zentren und durch das Labyrinth. <i>Arch.Phys.</i> (1909) 130:193-218
Brown-Séquard (1860)	Brown-Séquard, Charles Edward. Course of lectures on the physiology and pathology of the central nervous system. Collins, Philadelphia (1860)
Bruck (1895)	Bruck, Alfred. Über die Beziehungen der Taubstummheit zum sogenannten statischen Sinn. <i>Arch.Phys.</i> (1895) 59:16-42
Brücke (1873)	Brücke, E. Vorlesungen über Physiologie Bd. II. Physiologie der Nerven und der Sinnesorgane. Wilhelm Braunmüller, Wien (1873)

- Brücke (1884) Brücke. Über Wahrnehmung der Geräusche. Sb Abt. 3 (1884) 90:199-230
- Brückner (1888) Brückner, C. Zur Function des Labyrinths. Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie (1888) 114:291-300
- Bruehl (1905) Bruehl, Gustav. Grundriss und Atlas der Ohrenheilkunde unter Mitwirkung von A. Politzer. Lehmann, München 2.Aufl.(1905)
- Brunner (1871) Brunner, Gustav. Ueber den bei Krankheiten des Gehörorgans vorkommenden Schwindel (Gehörschwindel). Archiv für Augen- und Ohrenkrankheiten (1871) 2.1 : 63-98
- Bunting (1893) Bunting, Martha. Über die Bedeutung der Otolithenorgane für die geotropische Functionen von *Astacus fluviatilis* Arch.Phys. (1893) 54:531-537
- Carus (1911) Carus, Paul. Prof. Mach and his work. Monist (1911) 21:19-42
- Cohn (1891) Cohn, Michael. Über Nystagmus bei Ohr affectionen. Berliner klinische Wochenschrift (1891) 28:1052-1054, 1074-1077
- Corradi (1891) Corradi, C. Ueber die functionelle Wichtigkeit der Schnecke. Arch.Ohr. (1891) 32:1-14
- Croom-Robertson (1878) Croom-Robertson. The s.c.c. and the "sense of space". Mind (1878) 3:559-564
- Crum-Brown (1874a) Crum-Brown, A. Preliminary note on the sense of rotation and the function of the semicircular canals of the internal ear. Proceedings of the royal society of Edinburgh (1874) 8:255-257
- Crum-Brown (1874b) Crum-Brown, A. On the sense of rotation and the anatomy and physiology of the semicircular canals of the internal ear. The journal of anatomy and physiology (1874) 8:327-331
- Crum-Brown (1889) Crum-Brown, A. Our sensations of motion. Nature (1889) 40:449-453
- Crum-Brown (1895) Crum-Brown, A. The relations between the movements of the eyes and the movements of the head. Nature (1895) 52:184-188
- Curschmann (1874) Curschmann, H. Über das Verhältnis der Halbzirkelkanäle des Ohrlabyrinths zum Körpergleichgewicht. Vorläufige Mittheilung. Deutsche Klinik (1874) 26:20-22
- Curschmann (1875) Curschmann, H. Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten (1875) 5:458-504
- Cyon (1874) Cyon, Elie von. Ueber die Function der halbcirkelförmigen Canäle. Arch.Phys.(1874) 8::306-327
- Cyon (1888) Cyon, Elie von. Gesammelte physiologische Arbeiten. Hirschwald, Berlin (1888)
- Cyon (1897) Cyon, Elie von. Bogengänge und Raumsinn. Archiv für Anatomie und Physiologie. Physiologische Abtheilung (1897) 29-111
- Cyon (1898a) Cyon, Elie von. Die Functionen des Ohrlabyrinths. Arch.Phys. (1898) 71:72-104
- Cyon (1898b) Cyon, Elie von. Zwei Berichtigungen. Arch.Phys. (1898) 72:522-527
- Cyon (1900) Cyon, Elie von. Ohrlabyrinth, Raumsinn und Orientierung. Arch.Phys. (1900) 79:211-302
- Cyon (1901) Cyon, Elie von. Die physiologischen Grundlagen der Geometrie von Euklid. Arch.Phys. (1901) 85:576-630
- Cyon (1902a) Cyon, Elie von. Beiträge zur Physiologie des Raumsinns. I.Theil. Arch.Phys. (1902) 89:427-453
- Cyon (1902b) Cyon, Elie von. Beiträge zur Physiologie des Raumsinns. Zweiter Theil. Arch.Phys. (1902) 90:585-590
- Cyon (1903) Cyon, Elie von. Beiträge zur Physiologie des Raumsinns. Dritter Theil. Arch.Phys. (1903) 94:139-249

- Cyon (1907) Cyon, Elie von. Das Ohrlabyrinth als Organ der mathematischen Sinne für Raum, Zeit und Zahl. Arch.Phys. (1907) 118:525-535
- Cyon (1908) Cyon, Elie von. Das Ohrlabyrinth als Organ der mathematischen Sinne für Raum und Zeit. Springer, Berlin (1908)
- Cyon (1909) Cyon, Elie von. Leib, Seele, Geist. Arch.Phys. (1909) 127:533-625
- Czermak (1873) Czermak, Johann Nepomuk. Über das Ohr und das Hören. Sammlung gemeinverständlicher wissenschaftlicher Vorträge (1873) 8.Serie, Heft 169
- Czermak (1879) Czermak, Johann Nepomuk. Gesammelte Schriften. Engelmann, Leipzig (1879)
- Dalby (1883) Dalby, W.B. The functions of the semicircular canals. Lancet (1883) 1:386-387
- Delage (1887) Delage, Yves. Sur une fonction nouvelle des otocystes comme organes d'orientation locomotrice. Archives de Zoologie experimentale et generale (1887) 1-26
- Dennert (1877) Dennert. Zur Physiologie des Gehörorgans. Arch.Ohr. (1877) 12:191-203
- Dreyfuss (1900) Experimenteller Beitrag zur Lehre von den nichtakustischen Funktionen des Ohrlabyrinths. Arch.Phys. (1900) 88:604-635
- Eckert (1884) Eckert, Lorenz. Über die Ménière'sche Krankheit. Benno Schwabe, Basel (1884)
- Eckert (1886) Eckert, Lorenz. Zur Function der halbkirkelförmigen Kanäle. Correspondenzblatt für Schweizer Ärzte (1886) 16:11-16
- Emanuel (1903) Emanuel, Gustav. Über die Wirkung der Labyrinth auf die Zugcurve des Frosches. Arch.Phys. (1903) 99:363-384
- Engelmann (1887) Engelmann, Th.W. Über die Function der Otolithen. Zoologischer Anzeiger (1887) 10:439-444
- Erb (1871) Erb, W. Zur galvanischen Behandlung von Augen- und Ohrenleiden A.f.A.O. (1871) 2,1
- Erhard (1875) Erhard, Julius. Vorträge über die Krankheiten des Ohres. Leipzig (1875)
- Ewald (1887) Ewald, J.Richard. Zur Physiologie der Bogengänge. Arch.Phys. (1887) 41:463-483
- Ewald (1889) Ewald, J.Richard. Zur Physiologie der Bogengänge. Fortsetzung. Ueber die Bewegung der Perilymphe. Arch.Phys. (1889) 44:319-326
- Ewald (1890a) Ewald, J.Richard. Ueber motorische Störungen nach Verletzungen der Bogengänge. Centralblatt f.d.med. Wiss. (1890) 28:114-116,130-132
- Ewald (1890b) Ewald, J.Richard. Die Abhängigkeit des galvanischen Schwindels vom inneren Ohr. Centralblatt f.d.med. Wiss. (1890) 28:753-755
- Ewald (1891) Ewald, J.Richard. Bedeutung des Ohres für die normale Muskelcontractionen. Centralblatt für Physiologie (1891) 5:4-6
- Ewald (1892) Ewald, J.Richard. Physiologische Untersuchungen über das Endorgan des Nervus octavus. J.F.Bergmann, Wiesbaden (1892)
- Ewald (1893) Ewald, J.Richard. Demonstration labyrinthloser Tauben. Deutsche medizinische Wochenschrift (1893) 19:826
- Ewald (1894a) Ewald, J.Richard. Über die Wirkung des Labyrinthtonus auf die Zugcurve des Muskels. Deutsche medizinische Wochenschrift (1894) 20:69
- Ewald (1894b) Ewald, J.Richard. Die centrale Entstehung von Schwebungen zweier monotonisch gehörter Töne. Arch.Phys. (1894) 57:80-88
- Ewald (1895a) Ewald, J.Richard. Zur Physiologie des Labyrinths. 3. Mittheilung. Das Hören labyrinthloser Tauben. Arch.Phys. (1895) 59:258-275
- Ewald (1895b) Ewald, J.Richard. Zur Physiologie des Labyrinths. IV. Mittheilung. Die Beziehungen des Grosshirns zum Tonuslabyrinth. Arch.Phys. (1895) 60:492-508

- Ewald (1896) Ewald, J.Richard. Zur Physiologie des Labyrinths. V. Mitteilung. Die Beziehungen des Tonuslabyrinths zur Todtenstarre und über die Nysten'sche Reihe. Arch.Phys. (1896) 63:521-541
- Ewald (1899) Ewald, J.Richard. Zur Physiologie des Labyrinths. VI. Mitteilung. Eine neue Hörtheorie. Arch.Phys. (1899) 76:147-188
- Ewald (1902) Ewald, J.Richard. Friedrich Leopold Goltz. Berliner Klinische Wochenschrift (1902):479-480
- Ewald (1903a) Ewald, J.Richard. Zur Physiologie des Labyrinths. VII. Mitteilung. Die Erzeugung von Schallbildern in der Camera acustica. Arch.Phys. (1903) 93:485-500
- Ewald (1903b) Ewald, J.Richard. Friedrich Goltz. Arch.Phys. (1903) 94:1-64
- Exner (1874) Exner, Sigmund. Kleine Mittheilungen physiologischen Inhalts. Sb III.Abt. (1874) 70,III:153-155
- Exner (1876) Exner, Sigmund. Zur Lehre von den Gehörsempfindungen. Arch.Phys. (1876) 13:228-253
- Fano (1890) Fano u. Masini. Beitrag zur Physiologie des inneren Ohres. Centralblatt für Physiologie (1890) 4:787-788
- Flourens (1824) Flourens, Jean Marie Pierre. Recherches expérimentales sur les propriétés et les fonctions du système nerveux dans les animaux vertébrés. Paris (1824). dt. Übersetzung von Becker, Gottfried Wilhelm. Versuche und Untersuchungen über die Eigenschaften und Verrichtungen des Nervensystems bei Thieren mit Rückenwirbeln. Leipzig, (1824)
- Flourens (1825) Flourens, Jean Marie Pierre Expériences sur le système nerveux. Paris (1825)
- Flourens (1842) Flourens, Jean Marie Pierre. Recherches expérimentales sur les propriétés et les fonctions du système nerveux dans les animaux vertébrés. Paris 2.Aufl. (1842)
- Forel (1887) Forel u. Flechsig. Zur Acusticusfrage. Neurologisches Centralblatt (1887) 6:31-34
- Frankl-Hochwart (1895) Frankl-Hochwart, L.v. Der Ménière'sche Symptomenmkomplex. in Nothnagel, Herrmann. (Hrsg.) Specielle Pathologie und Therapie. Band 11, Theil 2, Abt. 3. Alfred Hölder, Wien (1875)
- Fröhlich (1905) Fröhlich, Alfred. Über den Einfluss der Zerstörung des Labyrinthes beim Seepferdchen nebst einigen Bemerkungen über das Schwimmen dieser Tiere. Arch.Phys. (1905) 106:84-90
- Gescheit (1902) Gescheit. Über die Ménière'sche Krankheit. Berliner klinische Wochenschrift (1902) 39:304-307
- Goltz (1869) Sitzungsberichte des Vereins für wissenschaftliche Heilkunde zu Königsberg i. Pr. Berliner klinische Wochenschrift (1869) 6:511
- Goltz (1870) Goltz, Friedrich. Ueber die physiologische Bedeutung der Bogengänge des Ohrlabyrinths. Arch.Phys. (1870) 3:172-192
- Gottwald (1893) Beitrag zur Lehre von den Funktionen der Bogengänge. Dissertation Erlangen (1893)
- Gruber (1895) Gruber. Über Morbus Ménièrei. M.f.O. (1895) 29:181-184
- Hasse (1867a) Hasse. Die Schnecke der Vögel. Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie (1867) 17:56-104
- Hasse (1867b) Hasse. Beiträge zur Entwicklung der Gewebe der häutigen Vogelschnecke. Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie (1867) 17:381-406
- Hasse (1867c) Hasse. Nachträge zur Anatomie der Vogelschnecke. Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie (1867) 17:461-469
- Hasse (1867d) Hasse. Der Bogenapparat der Vögel. Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie (1867) 17:598-654

- Hasse (1868a) Hasse. Die Histologie des Bogenapparates und des Steinsacks der Frösche. Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie (1868) 18:71-94
- Hasse (1868b) Hasse. Das Gehörorgan der Frösche. Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie (1868) 18:359-420
- Helmholtz (1867) Helmholtz, Hermann von. Handbuch der physiologischen Optik. als 9. Band der Allgemeine Encyclopädie der Physik. Hrsg. Karsten, Gustav. Voss, Leipzig (1867)
- Helmholtz (1877) Helmholtz, Hermann von. Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. Friedrich Vieweg, Braunschweig 4. Aufl. (1877)
- Hensen (1863a) Hensen, Victor. Studien über das Gehörorgan der Decapoden. Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie (1863) 13:319-412
- Hensen (1863b) Hensen, Victor. Zur Morphologie der Schnecke des Menschen und der Säugethiere. Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie (1863) 13:481-512
- Hensen (1880) Hensen, Victor. Physiologie des Gehörs. in Herrmann, Ludimar. Handbuch der Physiologie 3. Band, 2. Theil. Vogel, Leipzig (1880)
- Hensen (1886) Hensen, Victor. Untersuchungen über Wahrnehmung der Geräusche. Arch.Ohr. (1886) 23:69-90
- Hensen (1893) Hensen, Victor. Vortrag gegen den sechsten Sinn. Arch.Ohr. (1893) 35:161-177
- Hensen (1899a) Hensen, Victor. Wie steht es mit der Statocysten-Hypothese ? Arch.Phys. (1899) 74:22-42
- Hensen (1899b) Hensen, Victor. Über die acustische Bewegung in dem Labyrinthwasser. MMW (1899) 44:444-445
- Hensen (1902) Hensen, Victor. Die Fortschritte in einigen Teilen der Physiologie des Gehörs. Ergebnisse der Physiologie. II. Abt. (1902) 1:847-895
- Hensen (1904) Hensen, Victor. Über das Hören der Fische. Münchner medizinische Wochenschrift (1904) 51:42
- Hensen (1907) Hensen, Victor. Die Empfindungsarten des Schalls. Arch.Phys. (1907) 119:249-294
- Herrmann (1896) Herrmann, Ludimar. Lehrbuch der Physiologie. Berlin 11. Aufl. (1896), 12. Aufl. (1900)
- Herz (1791) Herz, Marcus. Versuch über den Schwindel. Vossische Buchhandlung, Berlin 2. Aufl. (1791)
- Herzfeld (1908) Herzfeld. Zur funktionellen Prüfung des Vestibularapparates. M.f.O. (1908) 42:647-648
- Hitzig (1871) Hitzig, Eduard. Über die beim Galvanisieren des Kopfes entstehenden Störungen der Muskelinnervation und der Vorstellung vom Verhalten im Raum. Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin (1871) 716-770
- Hitzig (1872) Hitzig, Eduard. Weitere Untersuchungen zur Physiologie des Gehirns. Berliner klinische Wochenschrift. (1872) 9:504-505
- Hitzig (1874) Hitzig, Eduard. Untersuchungen über das Gehirn. Gesammelte Abhandlungen. August Hirschwald, Berlin 1.Aufl. (1874)
- Hitzig (1898) Hitzig, Eduard. Der Schwindel. in Nothnagel, Herrmann. (Hrsg.) Spezielle Pathologie und Therapie. Band 12. Alfred Hölder, Wien (1898)
- Hitzig (1904) Hitzig, Eduard. Physiologische und klinische Untersuchungen über das Gehirn. Gesammelte Abhandlungen. August Hirschwald, Berlin 2.Aufl. (1904)
- Högyes (1881) Högyes, Andreas. Ueber die wahren Ursachen der Schwindelerscheinungen bei der Drucksteigerung in der Paukenhöhle. Arch.Phys. (1881) 26:558-568

- Högyes (1912) Högyes, Andreas. Über den Nervenmechanismus der assoziierten Augenbewegungen. Monatsschrift für Ohrenheilkunde und Laryngo-Rhinologie. (1912) 46:681-740, 809-841, 1027-1083, 1353-1413, 1554-1571. Übersetzung von Martin Sugar der im ungarischen Original erschienen dreiteiligen Arbeit in: Mittheilungen der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der ungarischen Akademie der Wissenschaften (Budapest) (1881) 10:1-62; 11,1-100; 14:1-84
- Jacobson (1898) Jacobson, Lois. Lehrbuch der Ohrenheilkunde. 2.Aufl. (1898)
- James (1882) James, Williams. The sense of dizziness in deaf-mutes. The american journal of otology (1882) 4:239-254
- Jansen (1898) Jansen, A. Über eine häufige Art der Betheiligung des Labyrinths bei den Mittelohreiterungen. Arch.Ohr. (1898) 45:193-250
- Jensen (1893) Jensen, Paul. Über den Geotropismus niederer Organismen. Arch.Phys. (1893) 53:428
- Jensen (1896) Jensen. Über den galvanischen Schwindel. Arch.Phys. (1896) 64:182-222
- Kaiser (1891) Kaiser, Otto. Das Epithel der Cristae und Maculae acusticae. Arch.Ohr. (1891) 32:181-194
- Katz (1887) Katz. Beitrag zur anatomischen Präparation des häutigen Labyrinths. M.f.O. (1887) 21:177-178
- Kiesselbach (1882) Kiesselbach, W. Zur Function der halbzirkelförmigen Kanäle. Arch.Ohr. (1882) 18:152-156
- Kiesselbach (1883) Kiesselbach, W. Über die galvanische Reizung des Acusticus. Arch.Phys. (1883) 31:55-98, 377-384
- Knapp (1871) Knapp, H. Klinische Analyse der entzündlichen Affectionen des inneren Ohres. Archiv für Augen- und Ohrenkrankheiten (1871) 2.1:268-324
- Knoll (1885) Knoll, Ph. Über experimentell erzeugten Nystagmus. Wiener medizinische Wochenschrift (1885) 1565-1567
- Kny (1887) Kny, E. Untersuchungen über den galvanischen Schwindel. Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten (1887) 18:637-658
- Kobrak (1911) Kobrak, F. Die Funktionsprüfungen des Ohres. Barth, Leipzig (1911)
- Körner (1920) Körner, Otto. Erinnerungen eines deutschen Arztes und Hochschullehrers 1858-1914. Bergmann, München (1920)
- Krause (1890) Krause, R. Entwicklungsgeschichte der häutigen Bogengänge. Archiv für mikroskopische Anatomie 8(1890) 35:287-304
- Krauss (1824) Krauss, Heinrich Karl Wilhelm. De cerebri laesi ad motum voluntarium relatione, certaque vertiginis directione ex certis cerebri regionibus laesis pendente. Diss.inaug.med. Budapest (1824). in Purkyně, Jan Evangelista. Opera omnia 6. Prag (1954) S.16-47
- Kreidl (1892a) Kreidl, Alois. Beiträge zur Physiologie des Ohrlabyrinths auf Grund von Versuchen an Taubstummen. Arch.Phys. (1892) 51:119-150
- Kreidl (1892b) Kreidl, Alois. Weitere Beiträge zur Physiologie des Ohrlabyrinths. I. Mittheilung. Sb III.Abt. (1892) 101,3:469-480
- Kreidl (1893a) Kreidl, Alois. Weitere Beiträge zur Physiologie des Ohrlabyrinths. II. Mittheilung. Sb III.Abt. (1892) 102,3:149-173
- Kreidl (1893b) Kreidl, Alois. Zur Lehre vom Gleichgewichtsorgan. Centralblatt für Physiologie (1893) 7:165-167
- Kreidl (1895) Kreidl, Alois. Ueber die Perception der Schallwellen bei den Fischen. Arch.Phys. (1895) 61:450-464
- Kries (1890) Kries, J.V. Über das Erkennen der Schallrichtung. Zs.Psych.Phys. (1890) 1:235-251

- Kubo (1906a) Kubo, Ino. Über die vom N. acusticus ausgelösten Augenbewegungen (besonders bei thermischen Reizungen). Arch.Phys. (1906) 114:143-198
- Kubo (1906b) Kubo, Ino. Über die vom N. acusticus ausgelösten Augenbewegungen II. Mitteilung. Arch.Phys. (1906) 115:457-482
- Kuttner (1896) Kuttner, A. Die Hörfähigkeit labyrinthloser Tauben. Arch.Phys. (1896) 64:249-261
- Landois (1916) L. Landois's Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Urban & Schwarzenberg, Berlin 14. Aufl. (1916)
- Lang (1863) Das Gehörorgan der Cyprinoiden mit besonderer Berücksichtigung der Nervenendapparate. Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie (1863) 13:303-315
- Lange (1891) Lange, Bogumil. In wie weit sind die Symptome, welche nach Zerstörung des Kleinhirns beobachtet werden, auf Verletzungen des Acusticus zurückzuführen ? Arch.Phys. (1891) 50:615-625
- Laudenbach (1899) Laudenbach, J. Zur Otolithen-Frage. Arch.Phys. (1899) 77:311-320
- Lee (1892) Lee, F.G. Über den Gleichgewichtssinn. Centralblatt für Physiologie (1892) 6:508-512
- Loeb (1891a) Über Geotropismus bei Thieren. Arch.Phys. (1891) 49:175
- Loeb (1891b) Über den Antheil des Hörnerven an den nach Gehirnverletzung auftretenden Zwangsbewegungen, Zwangslagen und assoziierten Stellungsänderungen der Bulbi und Extremitäten. Arch.Phys. (1891) 50:66-83
- Loeb (1896) Loeb, Jacques, Maxwell, S.S. Zur Theorie des Galvanotropismus. Arch.Phys. (1896) 63:121
- Loeb (1897a) Loeb, Jacques, Gerry, Walter. Zur Theorie des Galvanotropismus. II. Mittheilung. Arch.Phys. (1897) 65:41-47
- Loeb (1897b) Loeb, Jacques. Zur Theorie des Galvanotropismus. III. Mittheilung. Arch.Phys. (1897) 65:308-316
- Loeb (1897c) Loeb, Jacques. Zur Theorie des Galvanotropismus. IV. Mittheilung. Arch.Phys. (1897) 67:483-491
- Löwenberg (1873) Löwenberg. Über die nach Durchschneidung der Bogengänge des Ohrlabyrinthes auftretenden Bewegungsstörungen. Archiv für Augen- und Ohrenheilkunde (1873) 3:1-12
- Lucae (1881a) Lucae, August. Über optischen Schwindel bei Druckerhöhungen im Ohr. Archiv für Anatomie und Physiologie, Physiol.Abt. (1881) 193-197
- Lucae (1881b) Lucae, August. Über optischen Schwindel bei Druckerhöhungen im Ohr. Arch.Ohr. (1881) 18:237-245
- Lucae (1881c) Lucae, August. Meniere'sche Krankheit. In Eulenburg, Albert (Hrsg.) Real-Encyclopädie der gesammten Heilkunde. (1881) 8. Band
- Lucae (1882) Lucae, August. Über Hämorrhagie und hämorrhagische Entzündung des kindlichen Ohrlabyrinths. Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und für klinische Medicin (1882) 88:556-576
- Lucae (1899) Lucae, August. Über cariöse und traumatische Labyrinthläsionen mit besonderer Berücksichtigung der Schwindelerscheinungen und der Ausfall des Weber'schen Versuches nebst einigen technischen Bemerkungen zur sogen. Radicaloperation. Arch.Ohr. (1899) 47:85-100
- Luchsinger (1884) Luchsinger, B. Zur Lage der Gleichgewichtscentren. Arch.Phys. (1884) 34:289-290
- Mach (1863a) Mach, Ernst. Vorträge über Psychophysik. Österreichische Zeitschrift für praktische Heilkunde. (1863) 9:146-366
- Mach (1863b) Mach, Ernst. Zur Theorie des Gehörorgans. Sb Abt.2 (1863) 48,2:283-300

- Mach (1865) Mach, Ernst. Bemerkungen über den Raumsinn des Ohres. Annalen der Physik (Leipzig) (1865) 126:331-333
- Mach (1865) Mach, Ernst. Bemerkungen über die Function der Ohrmuschel Arch.Ohr. (1875) 9:72-76
- Mach (1873) Mach, Ernst. Physikalische Versuche über den Gleichgewichtssinn des Menschen. Sb (1873) Abt.3 68:124-140
- Mach (1874a) Mach, Ernst. Versuche über den Gleichgewichtssinn. (Zweite Mittheilung). Sb (1874) Abt.2 69:121-135
- Mach (1874b) Mach, Ernst. Über den Gleichgewichtssinn. (Dritte Mittheilung). Sb (1874) Abt. 3 69,3:44-51
- Mach (1874c) Mach, Ernst. Beiträge zur Topographie und Mechanik des Mittelohres. Sb (1874) Abt. 3 69,3
- Mach (1875a) Mach, Ernst. Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen. Wilhelm Engelmann, Leipzig (1875)
- Mach (1875b) Mach, Ernst. Über die Construction eines Rotationsapparates mit optischer Aufhebung der Rotation. Anzeiger der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften (Wien) mathematisch-naturwissenschaftliche Classe (1875) 12:229-230
- Mach (1886) Mach, Ernst. Beiträge zur Analyse der Empfindungen. Fischer, Jena (1886)
- Mach (1910) Mach, Ernst. Populärwissenschaftliche Vorlesungen. Leipzig, 4.Aufl. (1910)
- Mach (1911) Mach, Ernst. Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen. Fischer, Jena. 6. Aufl. (1911)
- Malinin (1866) Malinin. Ueber die physiologische Rolle der häutigen Bogengänge (canales semicirculares) des Labyrinths. Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften (1866) 4:673-675
- Marikovszky (1903a) Marikovszky, Georg v. Beiträge zur Physiologie des Ohrlabyrinths. Arch.Phys. (1903) 94:449-454
- Marikovszky (1903b) Marikovszky, Georg v. Über den Zusammenhang zwischen der Muskulatur und dem Labyrinth. Arch.Phys. (1903) 98:284-298
- Marx (1907) Marx, Herrmann. Untersuchungen über Kleinhirnveränderungen nach Zerstörung der häutigen Bogengänge des Ohrlabyrinths. Arch.Phys. (1907) 120:166-180
- Matte (1892) Matte. Ein Beitrag zur Function der Bogengänge des Labyrinths. Dissertation Halle (1892)
- Matte (1894a) Matte. Experimenteller Beitrag zur Physiologie des Ohrlabyrinthes. Arch.Phys. (1894) 57:437-475
- Matte (1894b) Matte. Experimentelle Untersuchungen über die Function des Ohrlabyrinths der Tauben. Fortschritte der Medicin (1894) 12:123-127
- Matte (1898) Matte. Beiträge zur experimentellen Pathologie des Ohrlabyrinthes. Arch.Ohr. (1898) 44:251-262
- Mc Bride (1882) Mc Bride, P. Remarks on physiology of auditory vertigo and some other neuroses produced by ear disease. British medical journal (1882) 1291-1292
- Ménière s.
Blumenbach (1955)
- Michalsky (1876) Michalsky, Ludwig. Experimentelle Beiträge zur Frage über die Bedeutung der halbzirkelförmigen Kanäle des Ohrlabyrinths. Dissertation Greifswald (1876)
- Moon (1870) Moon. Über die Functionen des membranösen Labyrinths und der Canales semicirculares. The London, Edinburgh and Dublin philosophical magazine and journal of science (1870)

- Morison (1883) Morison, Alexander. The function of the semicircular Canals. *Lancet* (1883) 519-520
- Müller (1838) Müller, Johannes. *Handbuch der Physiologie des Menschen*. 2. Band, 2. Abt. Verlag von J. Hölscher, Coblenz (1838)
- Munk (1878) Munk. Ein Fall von einseitigem Fehlen aller Bogengänge bei der Taube. *Arch. Ana. Phys. Phys. Abt.* (1878) 347-348
- Mygind (1890) Mygind, V. Übersicht über die pathologisch-anatomischen Veränderungen der Gehörorgane Taubstummer. *Arch. Ohr.* (1890) 30:79-118
- Nagel (1896) Nagel, Willibald. Über kompensatorische Raddrehungen der Augen. *Zs. Psych. Phys.* (1896) 12:331-354
- Nagel (1905) Nagel. *Handbuch der Physiologie des Menschen*. Vieweg, Braunschweig (1905)
- Panse (1902) Panse. Schwindel. *Zschr. f. Ohr.* (1902) 41:1-66
- Passow (1905) Passow. Ein Beitrag zur Lehre von den Funktionen des Orlabyrinths. *Berl. klin. Wschr.* (1905) 42,1:38-41
- Pflüger (1878) Pflüger. Nystagmusartige Augenbewegungen in Folge eines Ohrenleidens. *Deutsche Zeitschrift für praktische Medizin* (1878) 409-411
- Pike (1908) Pike, H. Untersuchungen über das Verhalten des Vestibularapparates bei nicht eitrigen Erkrankungen des Ohres. *Mon. Ohr.* (1908) 42:212-237
- Politzer (1887) Politzer, Adam. *Lehrbuch der Ohrenheilkunde*. 2. Aufl. (1887)
- Politzer (1895) Politzer, Adam. Eröffnungsrede der otologischen Section auf der 66. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Wien vom 23.-29. September 1894. *Arch. Ohr.* (1895) 38
- Politzer (1896) Politzer, Adam. Ménièrescher Symptomencomplex infolge traumatischer Labyrinthläsion. *Arch. Ohr.* (1896) 41:165-175
- Politzer (1901) Politzer, Adam. *Lehrbuch der Ohrenheilkunde*. 4. Aufl (1901)
- Politzer (1907/13) Politzer, Adam. *Geschichte der Ohrenheilkunde I und II*. Band. Enke, Stuttgart (1907/13), Reproduktion Georg Olms, Hildesheim (1967)
- Politzer (1913) Politzer, Adam. Rückblick auf den Fortschritt der Otologie im letzten Halbjahrhundert. *Wiener medizinische Wochenschrift*. (1913): 2521-2528
- Pollak (1893) Pollak, Joseph. Über den "galvanischen Schwindel" bei Taubstummen und seine Beziehungen zur Function des Ohrenlabyrinthes. *Arch. Phys.* (1893) 54:188-208
- Preyer (1884) Preyer. Die Wahrnehmung der Schallrichtung mittels der Bogengänge. *Arch. Phys.* (1884) 40:586-622
- Purkyně (1820) Purkyně, Jan Evangelista. Beiyrträge zur näheren Kenntniss des Schwindels aus heautognostischen Daten. *Medicinische Jahrbücher des kaiserlich-königlichen Staates*. Wien (1820) VI. Band, II. Stück, 79-125. in Purkyně, Jan Evangelista. *Sebrané Spisy (Opera Omnia)* 2, Prag (1937) 13-37
- Purkyně (1825) Purkyně, Jan Evangelista. Physiologische Versuche über den Schwindel. 10. Bulletin der naturwissenschaftlichen Section der schlesischen Gesellschaft für vaterländische Kultur (1825). in Purkyně, Jan Evangelista. *Sebrané Spisy (Opera Omnia)* 2, Prag (1937) 54-55
- Purkyně (1826a) Purkyně, Jan Evangelista. Ueber die physiologische Bedeutung des Schwindels. 2. Bulletin der naturwissenschaftlichen Section der schlesischen Gesellschaft für vaterländische Kultur (1826). in Purkyně, Jan Evangelista. *Sebrané Spisy (Opera Omnia)* 2, Prag (1937) 62-63
- Purkyně (1826b) Purkyně, Jan Evangelista. Flourens de physiologia systematis nervorum. Kritisches Repertorium für die gesammte Heilkunde (1826) 11:101-123. in Purkyně, Jan Evangelista. *Sebrané Spisy (Opera Omnia)* 5, Prag 9-18

- Purkyně (1827) Purkyně, Jan Evangelista. Ueber die physiologische Bedeutung des Schwindels und die Beziehung desselben zu den neuesten Versuchen über die Hirnfunctionen. Magazin für die gesammte Heilkunde (Hrsg. Rust) (1827) 23:284-310. in Purkyně, Jan Evangelista. Sebrané Spisy (Opera Omnia) 3, Prag (1939) 1-13
- Purkyně (1846) Purkyně, Jan Evangelista. Sinne im Allgemeinen. in Wagner, Rudolf (Hrsg.) Handwörterbuch der Physiologie. Braunschweig (1846) 352-359. in Purkyně, Jan Evangelista. Sebrané Spisy (Opera Omnia) 3, Prag (1939) 155-163
- Retzius (1884) Retzius, Gustaf. Das Gehörorgan der Wirbelthiere. II. Band. Samson & Wallin, Stockholm (1884)
- Rüdinger (1867) Rüdinger. Über die Zotten in den häutigen halbkreisförmigen Kanälchen des menschlichen Labyrinths. Arch.Ohr. (1876) 2:1-3
- Rüdinger (1888) Rüdinger. Zur Anatomie und Entwicklung des inneren Ohres. M.f.O. (1888) 32:1-6, 33-41, 57-68
- Schäfer (1891a) Schäfer, Karl L. Über Gleichgewicht und Bewegungsempfindungen. Naturwissenschaftliche Wochenschrift (1891) 6:26-27
- Schäfer (1891b) Schäfer, Karl L. Über den Drehschwindel bei Thieren. Naturwissenschaftliche Wochenschrift (1891) 6:248-249
- Schäfer (1892) Schäfer, Karl L. Beiträge zur vergleichenden Psychologie. Zschr.f.Psych.Phys. (1892) 3:185-192
- Schäfer (1893) Schäfer, Karl L. Nochmalige Ablehnung der cerebralen Entstehung von Schwebungen. Zschr.f.Psych.Phys. (1893) 5:397-401
- Schäfer (1894a) Schäfer, Karl L. Function und Functionsentwicklung der Bogengänge. Zschr.f.Psych.Phys. (1894) 7:1-9
- Schäfer (1894b) Schäfer, Karl L. Zur Entwicklungsgeschichte der Bogengänge. Naturwissenschaftliche Wochenschrift (1894) 9:253-254
- Schapringer (1874) Schapringer, A. Historische Notiz über den Nutzen der Schnecke des Labyrinths. Archiv für Augen- und Ohrenheilkunde (1874) 4,1 :123-124
- Schiff (1883) Schiff, M. Über die Functionen des Kleinhirns. Arch.Phys. (1883) 32:427-452
- Schiklarewsky (1872) Schiklarewsky, A. Kleinhirn und Bogengänge der Vögel. Nachrichten von der königlichen Gesellschaft der Wissenschaften (Göttingen) (1872) 301-309, zit. nach einem Reprint Kraus, Nedeln (1967)
- Schwabach (1878) Schwabach. Nystagmusartige Augenbewegungen in Folge eines Ohrenleidens. Deutsche Zeitschrift für praktische Medicin. (1878) 124-125
- Schwartz (1877) Schwartz, H. Casuistik zur chirurgischen Eröffnung des Warzenfortsatzes. Arch.Ohr. (1877) 12:113-140
- Schwartz (1892, 1893) Schwartz, H. Handbuch der Ohrenheilkunde. Vogel, Leipzig (1892) 1. Band, (1893) 2.Band
- Scripture (1892) Scripture, E.W. Einige Beobachtungen über Schwebungen und Differenzttöne. Philosophische Studien. (1892) 7:630-632
- Scripture (1893) Scripture, E.W. Ist eine cerebrale Entstehung von Schwebungen möglich ? Philosophische Studien. (1893) 8:638-640
- Spamer (1880) Spamer, C. Experimenteller und kritischer Beitrag zur Physiologie der halbkreisförmigen Canäle. Arch.Phys. (1880) 21:479-590
- Spamer (1881) Spamer, C. Noch einige Worte zur Function der halbkreisförmigen Canäle des Ohres. Arch.Phys. (1881) 25:177-180
- Stein (1894) Stein, Stanislaus von. Die Lehren von den Functionen der einzelnen Theile des Ohrlabyrinths. Übers. von C. von Krzywicki. Fischer, Jena (1894)

- Stein (1895) Stein, Stanislaus von. Über Gleichgewichtsstörungen bei Ohrenleiden. Zschr.f.O. (1895) 27:114-138, 201-250
- Stein (1907) Stein, Stanislaus von. Ein Fall von nichteitriger Erkrankung des rechten Labyrinths. Zerstörung des Endapparates. Folgen. Eine neue Funktion des Labyrinths (Lichtlabyrinth). Arbeiten aus der Universitätsklinik für Ohren-, Hals- und Nasenleiden in Moskau (1907) Nr. 1
- Steiner (1888) Steiner, Isidor. Die Functionen des Centralnervensystems. Braunschweig (1888)
- Steiner (1889) Steiner, Isidor. Der Ménièresche Schwindel und die halbzirkelförmigen Canäle. Deutsche medizinische Wochenschrift. (1889) 15:958-960
- Stepanow (1886) Stepanow. zur Frage über die Function der Cochlea. Mon.Ohr. (1886) 20:116-124
- Stepanow (1888) Stepanow. Experimenteller Beitrag zur Frage über die Function der Schnecke. Mon.Ohr. (1888) 32:85-92
- Stern (1895a) Stern, L. William. Die Literatur über die nicht-akustische Function des inneren Ohres. Arch.Ohr. (1895) 39:248-284
- Stern (1895b) Stern, L. William. Taubstummensprache und Bogengangsfunktionen. Arch.Phys. (1895) 60:124-136
- Stern (1895c) Stern, L. William. Der sogenannte Gleichgewichtssinn. Prometheus (1895) 6:211-213, 235-37
- Strehl (1895) Strehl, H. Beiträge zur Physiologie des inneren Ohres. Arch.Phys. (1895) 61:205-234
- Sugar (1910) Sugar, Martin. Labyrinth und Nystagmus. Arch.Ohr. (1910) 81:1-8, 270, 272; 82:164
- Szenes (1892) Szenes, Sigismund. Bericht über die erste Versammlung der "deutschen otologischen Gesellschaft" (17. u. 18. April 1892). Arch.Ohr. (1892) 33:289-318
- Tageblatt (1869) Tageblatt der 43. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte. Innsbruck (1869)
- Tomaszewicz (1877) Tomaszewicz, Anna. Beiträge zur Physiologie des Ohrlabyrinths. Diss. Zürich 81877)
- Tröltzsch (1879) Tröltzsch, Anton von. Vorstellung beim Reichskanzleramte, betreffend die Berücksichtigung der Ohrenheilkunde bei Festsetzung der neuen Vorschriften für die ärztliche Schlussprüfung. Arch.Ohr. (1879) 14:151-164
- Tröltzsch (1881) Tröltzsch, Anton von. Lehrbuch der Ohrenheilkunde mit Einschluss der Anatomie des Ohres. Vogel, Leipzig 7. Aufl. (1881)
- Tröltzsch (1889) Tröltzsch, Anton von. Krankheiten des Gehörorgans. In: Gerhard, Karl. Handbuch der Kinderkrankheiten. Band 5, Abt. 2. Lauppische Buchhandlung, Tübingen (1889)
- Urbantschitsch (1896) Urbantschitsch. Über die vom Gehörorgane auf den motorischen Apparat des Auges stattfindenden Reflexeinwirkungen. Wiener klinische Wochenschrift (1896) 9:1-3
- Urbantschitsch (1897) Urbantschitsch. Über Störungen des Gleichgewichts und Scheinbewegungen. Zschr.f.Ohr. (1897) 31:234-294
- Verworn (1891) Verworn, Max. Gleichgewicht und Otolithenorgan. Arch.Phys. (1891) 50:423-472
- Vololini (1882) Vololini. Die acute Entzündung des häutigen Labyrinths des Ohres (Otitis labyrinthica s. intima) irrtümlich für Meningitis cerebro-spinalis epidemica gehalten. Morgenstern, Breslau (1882)
- Vololini (1886) Vololini. Über Ohren-Schwindel. M.f.O. (1886) 20:1-8
- Weber-Liel (1883) Weber-Liel. Zur Casuistik und Therapie des Ohrschwindels. M.F.O. (1883) 17:205-211
- Wegener (1894) Wegener, H. Die statische Labyrinththeorie. Naturwissenschaftliche Wochenschrift 81894) 9:189-192
- Wlassak (1892) Wlassak. Die Centralorgane der statischen Functionen des acusticus. Centralblatt für Physiologie (1892) 6:457-463

- Wlassak (1892/93) Wlassak. Die statischen Functionen des Ohrlabyrinths und ihre Beziehungen zu den Raumempfindungen. Vierteljahresschrift für wissenschaftliche Philosophie (1892) 16:385-403; (1893) 17:15-29
- Wundt (1893) Wundt, Wilhelm. Ist der Hörnerv direct durch Tonschwingungen erregbar ? Philosophische Studien. (1893) 8:641-652
- Wundt (1894) Wundt, Wilhelm. Akustische Versuche an einer labyrinthlosen Taube. Philosophische Studien. (1894) 9:496-509
- Wundt (1895) Wundt, W. Zur Frage der Hörfähigkeit labyrinthloser Tauben. Arch.Phys. (1895) 61:339-341
- Zimmermann (1899) Zimmermann, Gustav. Zur Physiologie des Gehörorganes. Münchner medizinische Wochenschrift (1899) 46,I:626-628
- Zenneck (1903) Zenneck, J. Reagieren Fische auf Töne ? Arch.Phys. (1903) 95:346-356
- Zoth (1901) Zoth, O. Ein Beitrag zu den Beobachtungen und Versuchen an japanischen Tanzmäusen. Arch.Phys. (1901) 86:147-176

Literatur nach 1920:

- Ackerknecht (1963) Ackerknecht, Erwin H. Josef Breuer. Neue österreichische Biographie ab 1815. (1963) 15: 126-130
- Ackerknecht (1986) Ackerknecht, Erwin H. Geschichte der Medizin. Enke, Stuttgart 5.Aufl. (1986)
- Berendes (1979) Berendes, J., Link, R., Zöllner, F. Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde in Praxis und Klinik. Thieme, Stuttgart (1979)
- Bethe (1922) Bethe, Albrecht. J.Rich. Ewald. Arch.Phys.s Archiv f.d.ges. Physiol. (1922) 193:108-127
- Biographisches (1930) Biographisches Lexikon der hervorragenden Ärzte aller Völker und Zeiten. Urban & Schwarzenberg, Berlin 2. Aufl (1930)
- Blackmore (1972) Blackmore, John T. Ernst Mach. University of california Press, Berkeley (1972)
- Blumenbach (1955) Blumenbach, Lutz Menières Originalarbeiten. Musterschmidt, Göttingen (1955)
- Burger (1921) Burger, H. Forselles A. u.a. Bárány und die Wiener Universität. Darstellung der Kontroverse. Acta Oto-laryngologica (Stockholm) 1921/22 3:379-393
- Cohen (1984) Cohen, B. Erasmus Darwin's observations on rotation and vertigo. Human Neurobiology (1984) 3:121-128
- Clarke (1993) Clarke, A.H., Teiwes, W., Scherer, H. Vestibular-oculomotor testing during the course of a spaceflight mission. The clinical investigator (1993) 71:740-748
- Claussen (1971) Claussen, C.F. Über den Schwindel. H.N.O. (1971) 19:232-239
- Decher (1964) Decher, H. Kurze Übersicht der historischen Entwicklung der Labyrinthphysiologie. Die medizinische Welt (1964) 403-405
- Diamant (1984) Diamant, Herman. The Nobel prize award to Robert Bárány - A controversial decision ? Acta Otolaryngologica (Stockholm) (1984) Suppl. 406:1-4
- Editorial (1965) Robert Bárány (1876-1936) - Investigator of labyrinth function. JAMA (1965) 191,2: 132-133
- Eicken (1951) Eicken, Carl E. Der Werdegang der Oto-Rhino-Laryngologie. Sitzungsberichte der deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Klasse für medizinische Wissenschaften. (1951) Nr. 2
- Eulner (1970) Eulner, Hans-Heinz. Die Entwicklung der medizinischen Spezialfächer an den Universitäten des deutschen Sprachgebietes. Enke, Stuttgart (1970)
- Fischer (1936) Fischer, I. In memoriam Robert Bárány. Wiener Medizinische Wochenschrift (1936) 478
- Frenzel (1925) Frenzel. Nystagmusbeobachtung mit eine Leuchtbrille. Klinische Wochenschrift (1925) 4:138
- Grüsser (1984) Grüsser, O.-J. J.E. Purkyně's contribution to the physiology of the visual, the vestibular and the oculomotor systems. Human Neurobiology (1984) 3:129-144
- Henn (1984) Henn, V. E. mach on the analysis of motion sensation. Human neurobiology (1984) 3:145-148
- Herneck (1956/57) Herneck, Friedrich. Über eine unveröffentlichte Selbstbiographie Ernst Mach's. Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt Universität Berlin. Math.-naturwiss. Reihe (1956/57) 6:209-220

- Holmgren (1936) Holmgren, Gunnar. Robert Bárány. 1876-1936. *Annals of Otolaryngology* (1936) 45:592-595.
- Jongkees (1966) Jongkees, Leonard B.W. J.R. Ewald. *Arch Otolaryng* (1966) 83:615-619
- Kerr (1990) Kerr, A.G. Aspects of vertigo. *Journal of the royal society of medicine* (1990) 83:348-351
- Kindler (1956) Kindler, W. Die Geschichte der Oto-Rhino-Laryngologie in Berlin. Thieme, Stuttgart (1956)
- King (1956) King, A.S. An historical note on the discovery of the depressor nerve. *The British veterinary Journal* (1956) 112:353-356
- Klimpel (1987) Klimpel, Volker. Geschichte des HNO-Fachgebietes. *HNO-Praxis*. (1987) 12:29-32
- König (1957) König, Karl. Dr. Josef Breuer 1842 - 1925. *Wiener klinische Wochenschrift* (1957) 69:280-284
- Kruta (1971) Kruta, V. (Hrsg.) Jan Evangelista Purkyně. Centenary Symposium. *Acta Facultatis Universitatis Brunensis* (1971) 40
- Lampa (1923) Lampa, Anton. Ernst Mach. *Neue österreichische Biographie* (1923) 1:93-102
- Lesky (1965) Lesky, Erna. Die Wiener medizinische Schule im 19. Jahrhundert. Hermann Böhlau Nachf., Graz (1965)
- Lesky (1981) Lesky, Erna. Meilensteine der Wiener Medizin. Maudrich, Wien (1981)
- Mach (1923) Mach, Ernst. Populärwissenschaftliche Vorlesungen. Leipzig (1923). Neudruck Böhlau Verlag Wien (1987), in *Klassische Studien zur sozialwissenschaftlichen Theorie, Weltanschauungslehre und Wissenschaftsforschung*. Band 5
- Majer (1976) Majer, E.H. Robert Bárány (1876-1936). *Nobelpreis für Medizin 1914. Laryng.Rhinol.* (1976) 55:614-616
- Majer (1980) Majer, E.H. Zur Geschichte der HNO-Heilkunde in Österreich. *Laryng.Rhinol.* (1980) 59:406-411
- Matzker (1958) Matzker, Joseph. Fortschritte und Irrtümer der Vestibularisforschung zwischen Goltz (1870) und Bárány (1905). *Zeitschrift für Laryngologie Rhinologie Otolgie und ihre Grenzgebiete* (1958) 37:527-533
- Mayerhofer (1967) Mayerhofer, Josef. Ernst Machs Berufung an die Wiener Universität 1895. *clio.med.* (1967) 2:47-55
- Meyer (1928) Meyer, Hans Horst. Josef Breuer. *Neue österreichische Biographie* (1928) 5:30-47
- Nylen (1965) Nylen, C.O. Robert Bárány. *Arch Otolaryng* (1965) 82:316-319
- Pappas (1984) Pappas, Dennis. Barany's history of vestibular physiology. Translation and commentary. *The annals of otology, rhinology and laryngology*. (1984) Supplement 110:1-16
- Pogány (1967) Pogány, E. Hörges und seine Bedeutung für die Vestibularisforschung. *Monatsschrift für Ohrenheilkunde und Laryngo-Rhinologie* (1967) 101:55-65
- Porep (1970) Porep Rüdiger. Der Physiologe und Planktonforscher Victor Hensen. *Kieler Beiträge zur Geschichte der Medizin und Pharmazie* (1970) Heft 9
- Psychrembel (1982) Psychrembel, Willibald. *Klinisches Wörterbuch*. de Gruyter, Berlin 254. Aufl. (1982)
- Rothschuh (1973) Rothschuh, Karl.E. History of physiology. Krieger, New York (1973) basierend auf der deutschen Ausgabe: *Geschichte der Physiologie*. Springer, Berlin (1953)
- Ruff (1936) Ruff, E. Robert Bárány. *Wien.med.Wschr.* (1936) 86:478
- Scherer (1984) Scherer, Hans. *Das Gleichgewicht I*. Springer, Berlin (1984)
- Scherer (1985) Scherer, Hans; Clarke, A.H. The caloric vestibular reaction in space. *Acta otolaryngologica* (Stockholm) (1985) 100:328-336

- Shampo (1980) Shampo, M.A.; Kyle, R.A. Robert Bárány. JAMA (1980) 243:1914
- Sjöberg (1964) Sjöberg, A. Conferring of the Bárány jubilee medal on Professor Alf Brodal, Norway. Acta oto-laryngologica (1964) Suppl. 192
- Stahle (1990) Stahle, J. Controversies on the caloric response. Acta otolaryngologica (Stockholm) (1990) 109:162-167
- Thiele (1963) Thiele, Joachim. Ernst-Mach-Bibliographie. Centaurus (1963) 8:189-237
- Thiele (1970) Thiele, Joachim. Aus der Korrespondenz Ernst Machs: Briefe deutscher und englischer Naturwissenschaftler. NTM (1970) 7(1):66-75
- Thiele (1975) Thiele, Joachim. Zur Analyse der Bewegungsempfindungen. Briefe von Josef Breuer an Ernst Mach. Centaurus (1975) 19:40-53
- Torok (1980) Torok, N. Robert Bárány. JAMA (1980) 244:2520
- Westheimer (1984) Westheimer. Helmholtz on eye movements. Human neurobiology (1984) 3:149-152
- Wodak (1927) Wodak, Ernst. der Bárány'sche Zeigerversuch. Berlin (1927)
- Wodak (1956) Wodak, Ernst. Kurze Geschichte der Vestibularisforschung. Thieme, Stuttgart (1956)
- Wycklicky (1986) Wycklicky, H. Über Bárány's Entdeckung und deren Aufnahme durch die Zeitgenossen. Wiener klinische Wochenschrift (1986) 98:622-625
- Wycklicky (1988) Wycklicky, H. Über den Einfluß in Ungarn geborener Ärzte auf die Entwicklung der Medizin in Wien. Wiener klinische Wochenschrift (1988) 100:208-210
- Zaunick (1961) Zaunick, Rudolph (Hrsg.) Purkyně-Symposium der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina. Nova Acta Leopoldina N.F. (1961) 24, Nr. 151

