©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Über

Orientierungsempfindungen.

Von

Prof. Dr. E. Mach.

Vortrag, gehalten den 24. Februar 1897.

Mit 4 Abbildungen im Texte.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Durch die Zusammenwirkung einer Reihe von Forschern, unter welchen vor allen Goltz in Straßburg und Breuer in Wien zu nennen sind, hat sich im Laufe des verflossenen Vierteljahrhunderts unsere Kenntnis wesentlich erweitert bezüglich der Mittel, durch welche wir uns über unsere Lage und Bewegung im Raume orientieren. Es ist Ihnen ja schon durch Herrn Prof. Obersteiner die physiologische Seite der Vorgänge dargelegt worden, mit welchen unsere Bewegungsempfindungen oder, allgemeiner gesprochen, unsere Orientierungsempfindungen zusammenhängen. Ich werde mir heute erlauben, vorwiegend die physikalische Seite der Sache zu beleuchten. In der That bin ich selbst durch Beachtung ganz einfacher und allgemein bekannter physikalischer Thatsachen, indem ich ohne irgendwelche Gelehrsamkeit auf dem Gebiete der Physiologie nur unbefangen meinen Gedanken nachgieng, auf dieses Untersuchungsgebiet gelangt, und ich glaube, dass dieser ganz voraussetzungslose Weg, wenn Sie meiner Erzählung folgen wollen, auch für die meisten von Ihnen der gangbarste sein wird.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Für den einfachen Menschen von gesundem Sinn konnte es nie zweifelhaft sein, dass ein Druck, eine Kraft nöthig sei, um einen Körper in bestimmter Richtung in Bewegung zu setzen, und ebenso ein entgegengesetzer Druck, um den in Bewegung begriffenen Körper plötzlich aufzuhalten. Wenn auch das Trägheitsgesetz erst durch Galilei schärfer formuliert worden ist, so kannten doch schon lange vorher Männer wie Leonardo da Vinci, Rabelais u. a. die betreffende Thatsache und erläutern dieselbe gelegentlich durch treffende Beispiele. Leonardo weiß, dass man aus einer Säule von Brettspielsteinen durch einen scharfen Schlag mit einem Lineal einen einzelnen Stein herausschlagen kann, ohne die Säule zu zerstören. Der Versuch mit der Münze auf dem Becherdeckel, welche in den Becher fällt, sobald der Deckel rasch weggezogen wird, ist, so wie ähnliche Versuche, gewiss uralt.

Bei Galilei gewinnt die erwähnte Erfahrung eine größere Kraft und Klarheit. In dem berühmten Dialog über das Copernicanische System, der ihn die Freiheit gekostet hat, erläutert er die Flutwelle in unglücklicher, aber im Princip doch richtiger Weise durch eine mit Wasser gefüllte, hin- und hergeschwungene Schüssel. Den Aristotelikern seiner Zeit, welche die Fallbewegung eines schweren Körpers durch Daraufliegen eines anderen zu beschleunigen meinten, hält er vor, dass ein Körper von dem daraufliegenden nur dann beschleunigt werden kann, wenn derselbe ersteren am Fallen hindert. Einen fallenden Körper durch

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

einen daraufliegenden drücken zu wollen, sei so unsinnig, wie einen Mann mit der Lanze treffen wollen, der dieser mit der gleichen Geschwindigkeit entflieht. Schon dies wenige von Physik kann vieles unserem Verständnis näher bringen. Sie kennen die eigenthümliche Empfindung, die man im Fallen hat, wenn man etwa vom Sprungbrett aus größerer Höhe ins Wasser springt, die in geringerem Maße auch im Lift bei Beginn der Abwärtsbewegung oder auch in der Schaukel eintritt. Der gegenseitige Gewichtsdruck der Theile unseres Leibes, der ja wohl in irgend einer Weise empfunden wird, verschwindet im freien Fall oder wird doch vermindert bei Beginn des Sinkens im Lift. Eine ähnliche Empfindung müsste auftreten, wenn wir etwa plötzlich auf den Mond mit seiner kleinen Fallbeschleunigung versetzt würden. Indem ich (1866) bei einem physikalischen Anlass auf diese Betrachtungen geführt wurde, und auch die Veränderungen des Blutdruckes in den erwähnten Fällen ins Auge fasste, traf ich, ohne es zu wissen, in manchen Punkten mit Wollaston und Purkinje zusammen. Ersterer hatte schon 1810 in seiner „Croonian lecture" über die „sea sickness" gesprochen und dieselbe auf Änderungen des Blutdruckes bezogen, letzterer hatte (1820—1826) seiner Erklärung des Drehschwindels ähnliche Betrachtungen zugrunde gelegt.[1])

[1]) Wollaston, Phil. Transact. Royal. Soc. London, 1810. Daselbst beschreibt und erklärt W. auch das Muskelgeräusch. Auf diese Arbeit wurde ich erst kürzlich durch Dr. W. Pa-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Newton hatte es zuerst in voller Allgemeinheit ausgesprochen, dass ein Körper die Geschwindigkeit und Richtung seiner Bewegung nur durch Einwirkung einer Kraft, also nur durch Mitwirkung eines anderen Körpers zu ändern vermag. Eine erst von Euler ausdrücklich gezogene Folgerung hieraus ist die, dass ein Körper nicht von selbst, sondern wieder nur durch Kräfte und andere Körper in Drehung gerathen, oder die vorhandene Drehung aufgeben kann. Drehen Sie z. B. Ihre geöffnete abgelaufene Taschenuhr frei in der Hand hin und her. Die Unruhe bleibt gegen jede raschere Drehung zurück, sogar gegen die elastische Kraft der Unruhefeder, welche sich als zu schwach erweist, die Unruhe ganz mitzunehmen.

Bedenken wir nun, dass immer, ob wir uns selbst etwa mit Hilfe unserer Beine bewegen, oder ob wir von einem Fuhrwerk, einem Boot mitgeführt werden, zunächst nur ein Theil unseres Leibes unmittelbar, der andere aber durch diesen bewegt wird. Wir erkennen dann, dass hiebei immer Drucke, Züge, Spannungen dieser Körpertheile gegeneinander entstehen, die Empfindungen auslösen, durch welche die fortschreitenden oder drehenden Bewegungen, in die wir gerathen, sich bemerklich machen.[1]) Es ist aber eine

---

scheles aufmerksam gemacht. — Purkinje, Prager Medicin. Jahrbücher, Bd. 6, Wien, 1820.

[1]) Ebenso wirken manche äußere Kräfte nicht gleich auf alle Theile der Erde, und die inneren Kräfte, welche Deformationen herbeiführen, wirken unmittelbar zunächst

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

natürliche Sache, dass diese uns so geläufigen Empfindungen wenig Beachtung finden, und dass sie die Aufmerksamkeit erst auf sich ziehen, wenn dieselben unter besonderen Umständen, in unerwarteter Weise, oder in ungewöhnlicher Stärke auftreten.

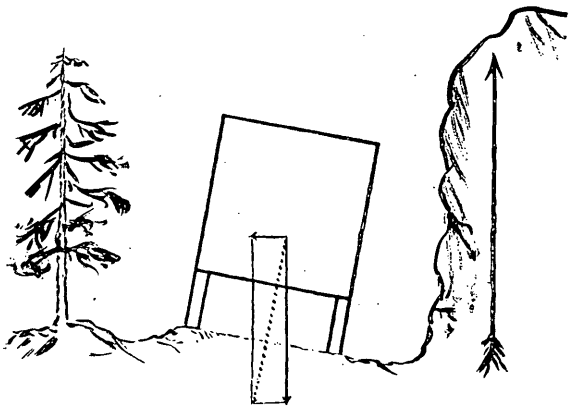

Fig. 1.

So ist auch meine Aufmerksamkeit einmal durch die Empfindung beim Fallen, dann aber noch durch

---

nur auf begrenzte Theile. Wäre die Erde ein empfindendes Wesen, so würde ihr die Flutwelle und andere Vorgänge ähnliche Empfindungen verursachen wie uns unsere Bewegung. Vielleicht hängen auch die kleinen Änderungen der Polhöhe, welche man gegenwärtig studiert, mit unausgesetzten kleinen Deformationen des Centralellipsoids zusammen, welche durch seïsmische Vorgänge bedingt sind.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

ein anderes eigenthümliches Vorkommnis erregt worden. Ich durchfuhr eine Eisenbahncurve von starker Krümmung und sah nun plötzlich alle Bäume, Häuser, Fabriksschlote an der Bahn nicht mehr lothrecht, sondern auffallend schief stehen. Was mir bis dahin so selbstverständlich erschienen war, dass wir das Loth so gut und scharf von jeder anderen Richtung unterscheiden, war mir mit einemmal räthselhaft. Wieso kann mir dieselbe Richtung einmal lothrecht erscheinen ein andermal nicht? Wodurch zeichnet sich das Loth für uns aus? (Vgl. Fig. 1.)

Die Schiene wird auf der convexen (erhabenen) Seite der Bahn höher gelegt, um trotz der Fliehkraft die Standfestigkeit des Wagens zu sichern, so zwar, dass die Zusammenwirkung der Schwerkraft und Fliehkraft wieder eine zur Schienenebene senkrechte Kraft ergibt.

Nehmen wir nun an, dass wir die Richtung der gesammten Massenbeschleunigung, woher dieselbe auch rühren mag, unter allen Umständen in irgend einer Weise als Lothrechte empfinden, so werden die gewöhnlichen und die ungewöhnlichen Erscheinungen in gleicher Weise verständlich.[1])

---

[1]) Für die beliebte Erklärungsweise durch unbewusste Schlüsse ist die Sache ungemein einfach. Man hält den Wagen für vertical und schließt daher „unbewusst" auf die Schiefstellung der Bäume. Allerdings würde das Gegentheil, dass man die Bäume für vertical hält, und auf die Schiefstellung des Wagens schließt, nach dieser Theorie ebenso klar sein.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

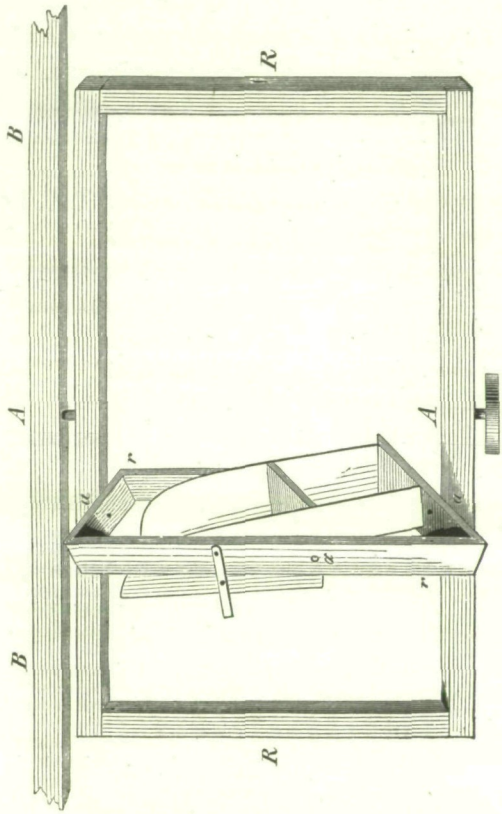

Fig. 2.

Aus Mach, Bewegungsempfindungen. Leipzig, Engelmann, 1875.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Ich hatte nun das Bedürfnis, die gewonnene Ansicht in bequemerer Weise und genauer auf die Probe zu stellen, als dies bei einer Eisenbahnfahrt möglich ist, bei welcher man die maßgebenden Umstände nicht in der Hand hat, nicht nach Belieben abändern kann. Zu diesem Zwecke wurde eine einfache Vorrichtung hergestellt, die hier in Fig. 2 dargestellt ist.

In einem an den Zimmerwänden befestigten großen Rahmen *B* dreht sich um eine lothrechte Achse *AA* ein zweiter *R* und in diesem ein dritter *r*, der in beliebiger Entfernung und Stellung von der Achse fest oder beweglich angebracht ist und einen Stuhl für den Beobachter trägt.

Der Beobachter setzt sich in den Stuhl und wird zur Vermeidung aller Störungen seines Urtheils ganz in einen Papierkasten eingeschlossen. Wird derselbe nun mit dem Rahmen *r* in gleichmäßige Umdrehung versetzt, so fühlt und sieht er den Beginn der Drehung nach Sinn und Ausmaß sehr deutlich, obgleich zur Beurtheilung des Vorganges jeder äußere sichtbare oder greifbare Anhaltspunkt fehlt. Bei gleichmäßiger Fortsetzung der Bewegung verschwindet die Empfindung der Drehung allmählich ganz, man meint ruhig zu stehen. Befindet sich aber *r* außer der Drehungsachse, so tritt gleich bei Beginn der Drehung eine auffallende, scheinbare, fühlbare und sichtbare Neigung des ganzen Papierkastens auf, geringer bei langsamer, größer bei rascherer Drehung, welche so lange verbleibt, als die Drehung währt. Diese Schiefstellung nimmt man mit

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

zwingender Gewalt wahr, obgleich wieder alle äußeren Anhaltspunkte für das Urtheil fehlen. Sitzt z. B. der Beobachter so, dass er nach der Achse hin blickt, so hält er den Kasten für stark nach hinten übergeneigt, wie es sein muss, wenn die Richtung der Gesammtkraft als Loth empfunden wird. Ähnlich verhält es sich bei anderen Stellungen des Beobachters.[1])

Als ich nun bei einem solchen Versuch nach längerer Drehung, die ich nicht mehr wahrnahm, den Apparat plötzlich anhalten ließ, fühlte und sah ich mich sammt dem Kasten sofort in lebhafter Gegendrehung begriffen, obgleich ich wusste, dass nun alles in Ruhe sei, und obgleich wieder jeder äußere Anhaltspunkt für eine Bewegungsvorstellung fehlte. Diese Erscheinungen sollte jeder kennen lernen, der die Existenz von Bewegungsempfindungen leugnet. Hätte Newton dieselben gekannt und erfahren, wie man sich im Raume gedreht und verstellt glaubt, ohne doch irgendwelche festliegende Körper als Anhaltspunkte zu haben, so würde ihn dies in seinen unglücklichen Speculationen über den absoluten Raum sicherlich noch bestärkt haben.

---

[1]) Man bemerkt, dass die Denkweise und Versuchsweise, in die ich da gerieth, sehr verwandt ist derjenigen, die Knight, Philosoph. Transactions (9. Jänner 1806), zur Erkenntnis und Untersuchung des Geotropismus der Pflanzen führte. Die Beziehungen zwischen pflanzlichem und thierischem Geotropismus sind in neuerer Zeit von J. Loeb beleuchtet worden.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Die Empfindung der Gegendrehung nach dem Anhalten des Rotationsapparates nimmt langsam und allmählich ab. Als ich aber während dieses Vorganges zufällig einmal den Kopf neigte, neigte sich mit diesem zugleich auch in demselben Sinne und Ausmaß die Achse der scheinbaren Drehung. Es war also klar: die Beschleunigung oder Verzögerung der Drehung wird empfunden. Die Beschleunigung wirkt als Reiz. Die Empfindung dauert aber, wie fast alle Empfindungen, mit allmählicher Abnahme merklich länger als der Reiz. Daher die lange scheinbare Drehung nach dem Anhalten des Apparates. Das Organ aber, welches diese nachdauernde Empfindung vermittelt, muss im Kopfe seinen Sitz haben, sonst könnte mit dem Kopfe die Achse der scheinbaren Drehung sich nicht mitbewegen.

Wenn ich nun sagen wollte, es sei mir im Augenblick dieser letzteren Beobachtungen ein Licht aufgegangen, so wäre das nicht zutreffend. Ich müsste sagen, eine ganze Illumination sei mir aufgegangen. Mir fielen meine Jugenderfahrungen über den Drehschwindel ein. Ich erinnerte mich der Flourens'schen Versuche der Durchschneidung der Bogengänge des Ohrlabyrinthes an Tauben und Kaninchen, wobei dieser Forscher dem Drehschwindel ähnliche Erscheinungen beobachtet hatte, welche er aber, befangen in der akustischen Auffassung des Labyrinthes, lieber als den Ausdruck schmerzhafter Gehörsstörungen deutete. Ich erkannte, dass ein Forscher wie Goltz nicht ganz, aber fast ins

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Schwarze getroffen hatte mit seiner Auffassung des Bogengangapparates. Goltz, der durch seine glückliche Art, unbekümmert um Herkömmliches, sich nur von seinen Gedanken leiten zu lassen, uns so vielfach aufzuklären wusste, hatte auf Grund von Versuchen schon 1870 den Ausspruch gethan: „Ob die Bogengänge Gehörorgane sind, bleibt dahingestellt. Außerdem bilden sie eine Vorrichtung, welche der Erhaltung des Gleichgewichtes dient. Sie sind sozusagen Sinnesorgane für das Gleichgewicht des Kopfes und mittelbar des ganzen Körpers.“ Ich erinnerte mich des von Ritter und Purkinje beobachteten galvanischen Schwindels bei Durchleitung des Stromes quer durch den Kopf, wobei die Versuchspersonen nach der Kathode umzusinken meinen. Der Versuch wurde sofort wiederholt, und etwas später (1874) konnte ich denselben objectiv an Fischen demonstrieren, welche im Stromfeld wie auf Commando alle in demselben Sinne sich seitwärts legten.[1]) Die Müller'sche Lehre von den specifischen Energien schien mir nun alle diese alten und neuen Beobachtungen in einen einfachen Zusammenhang zu bringen.

In der That, denken wir uns das Gehörlabyrinth mit seinen drei zu einander senkrechten Bogengang-

[1]) Dieser Versuch ist wohl verwandt mit dem ein Decennium später von L. Hermann beschriebenen „galvanotropischen“ Versuch (an Froschlarven). Vgl. darüber meine Bemerkung im Anzeiger der Wiener Akademie, 1886, Nr. 21. Neuere Versuche über Galvanotropismus rühren von J. Loeb her.

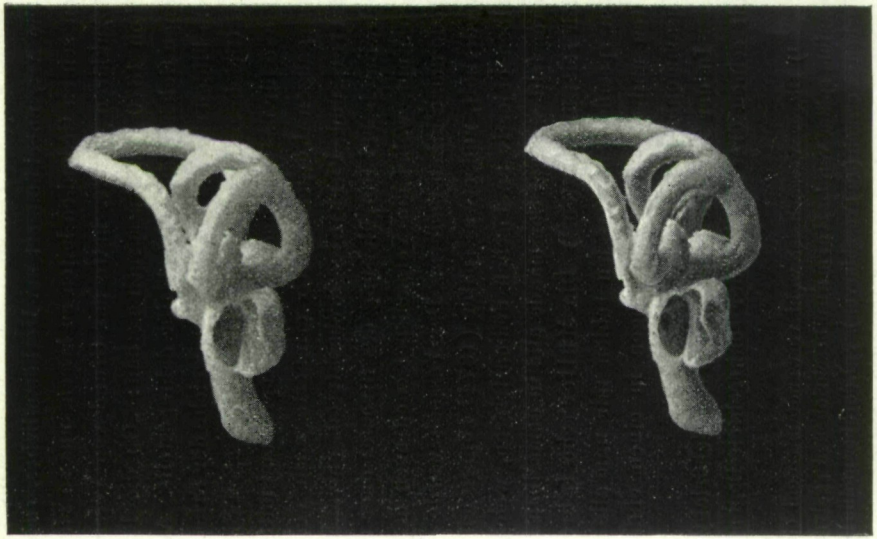

Fig. 3.

Das Labyrinth der Taube (stereoskopisch) nach R. Ewald, Nervus octavus, Wiesbaden, Bergmann, 1892.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

ebenen, (vgl. Fig. 3) deren räthselhafte Stellung man ja schon in jeder möglichen und unmöglichen Weise aufzuklären versucht hat. Denken wir uns die Nerven der Ampullen (Erweiterungen) der Bogengänge mit der Eigenschaft ausgestattet, auf jeden beliebigen Reiz mit einer Drehempfindung zu antworten, so wie etwa die Nerven der Netzhaut des Auges auf Druck, elektrischen, chemischen Reiz, immer nur mit Lichtempfindung antworten, stellen wir uns ferner vor, dass der gewöhnliche Reiz der Ampullennerven durch die Trägheit des Bogenganginhaltes ausgeübt wird, welcher bei entsprechenden Drehungen in der Ebene des Bogenganges zurückbleibt, oder doch das Bestreben hat zurückzubleiben, und folglich einen Druck ausübt. Man sieht, dass dann alle die einzelnen Thatsachen, welche ohne diese Auffassung als eben so viele verschiedene Sonderbarkeiten erscheinen, aus diesem einen Gesichtspunkt klar und verständlich werden.

Ich hatte nun die Freude, dass unmittelbar nach meiner Mittheilung, in welcher ich diesen Gedanken dargelegt hatte,[1]) eine Mittheilung von Breuer erschien,[2]) welcher durch ganz andere Methoden zu Ergebnissen gelangt war, die in allen wesentlichen Punkten mit den meinigen übereinstimmten. Einige Wochen später kam auch Crum Brown in Edinburg, dessen Wege den meinigen näher lagen. Breuers

[1]) Wiener Akad., 6. November 1873.

[2]) Gesellschaft der Ärzte, 14. November 1874.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Arbeit war weit reicher an physiologischen Erfahrungen als die meinige, und insbesonders hatte er viel

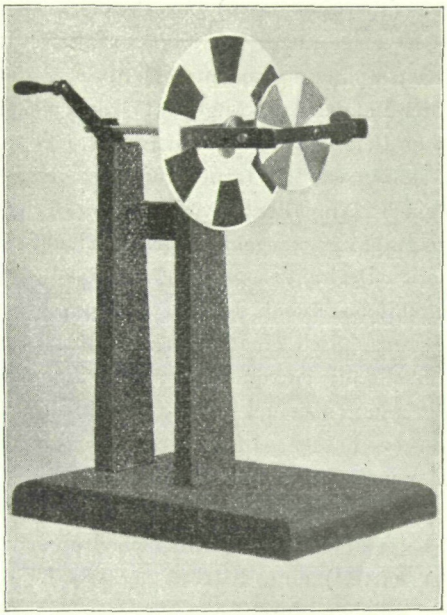

Fig. 4.

eingehender die Mitwirkung der reflectorischen Bewegungen und Orientierung der Augen bei den fraglichen Erscheinungen untersucht.[1]) Außerdem waren

[1]) Ich habe zu letzterer Frage noch in meiner „Analyse der Empfindungen", 1886, einen Beitrag geliefert.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Versuche, die ich in meiner Mittheilung als Probe der Richtigkeit der dargelegten Auffassung vorgeschlagen hatte, von Breuer schon ausgeführt. Auch um die weitere Bearbeitung des Gebietes hat sich Breuer die größten Verdienste erworben. In physikalischer Beziehung war natürlich meine Arbeit vollständiger.

Um das Verhalten des Bogengangapparates zu veranschaulichen, habe ich hier eine kleine Vorrichtung (Fig. 4) hergestellt. Die große drehbare Scheibe stellt den knöchernen, mit dem Kopfe fest verbundenen Bogengang, die auf ersterer frei drehbare kleinere Scheibe den beweglichen, theilweise flüssigen Bogenganginhalt vor. Bei jeder Drehung der größeren Scheibe bleibt, wie Sie sehen, zunächst die kleinere Scheibe zurück. Ich muss lange drehen, bevor die letztere durch die Reibung endlich mitgenommen wird. Halte ich aber dann die größere Scheibe an, so sehen Sie, wie die kleinere Scheibe die ursprüngliche Drehung fortsetzt.

Nehmen Sie nun an, dass eine Drehung der kleineren Scheibe, etwa im Sinne des Uhrzeigers, die Empfindung einer Drehung im entgegengesetzten Sinne auslösen würde, und umgekehrt, so verstehen Sie schon einen guten Theil der dargelegten Thatsachen. Dieselben bleiben auch verständlich, wenn die kleinere Scheibe sich nicht wirklich ausgiebig dreht, sondern etwa durch eine elastische Feder festgehalten wird, deren Spannung eine Empfindung auslöst. Solcher Vorrichtungen denken Sie sich nun drei, mit drei zu einander senkrechten Drehungsebenen zu einem Appa-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

rat verbunden. Diesem gesammten Apparat kann dann keine Drehung ertheilt werden, ohne dass dieselbe durch die kleinen beweglichen oder an Federn befestigten Scheiben angezeigt wird. Sowohl das rechte wie das linke Ohr denken Sie sich mit einer derartigen Vorrichtung ausgestattet. Dieselbe entspricht dem Bogengangapparat, den Sie in Fig. 3 in einem Stereoskopbild für das Ohr der Taube dargestellt sehen.

Von den vielen Versuchen, die ich an mir selbst angestellt habe, und deren Ausfall nach der dargelegten Auffassung, nach dem Verhalten des Modells, also nach den Regeln der Mechanik vorausgesagt werden konnte, sei nur einer angeführt. Ich bringe in dem Rahmen *R* meines Rotationsapparates ein wagrechtes Brett an, lege mich auf dasselbe, etwa auf das rechte Ohr hin, und lasse die Vorrichtung gleichmäßig drehen. Sobald ich die Drehung nicht mehr empfinde, wende ich mich auf das linke Ohr um, und sofort tritt die Empfindung der Drehung in aller Lebhaftigkeit wieder auf. Der Versuch kann beliebig oft wiederholt werden. Selbst eine geringe Kopfwendung genügt zur jedesmaligen Auffrischung der Drehempfindung, welche bei vollkommen ruhiger Lage alsbald ganz verschwindet.

Wir wollen den Vorgang am Modell nachahmen. Ich drehe die größere Scheibe. Die kleinere wird schließlich mitgenommen. Wenn ich aber nun bei gleichmäßiger Fortsetzung der Drehung einen Faden abbrenne, so wird die kleinere Scheibe durch eine Feder in ihre eigene Ebene (um 180^0) umgeklappt, so

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

dass Ihnen dieselbe nun ihre andere Seite zuwendet, und die Gegendrehung tritt sofort auf.

Es gibt also ein sehr einfaches Mittel, zu unterscheiden, ob man sich in einer gleichmäßigen, sonst unmerklichen Drehung befindet oder nicht. Würde die Erde viel rascher rotieren, als es wirklich der Fall ist, oder wäre unser Bogengangapparat viel empfindlicher, so würde Nansen, am Nordpol schlafend, bei jeder Umwendung durch eine Drehempfindung geweckt worden sein. Das Foucault'sche Pendel zum Nachweise der Erdrotation wäre unter solchen Verhältnissen unnöthig. Es liegt in der That nur an der geringen Winkelgeschwindigkeit der Erde und den hieran hängenden großen Versuchsfehlern, dass wir die Erdrotation nicht mit Hilfe unseres Modells nachweisen können.[1])

Aristoteles hat behauptet: „Das Süßeste ist die Erkenntnis." Er hat damit Recht. Wenn Sie aber annehmen wollten, dass auch die Publication einer neuen Einsicht eine große Süßigkeit im Gefolge habe, so wären Sie in einem gewaltigen Irrthum befangen. Niemand beunruhigt seine Nebenmenschen ungestraft mit einer neuen Einsicht. Und damit soll gegen diese Nebenmenschen gar kein Vorwurf ausgesprochen sein.

---

[1]) In meinen „Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen", 1875, ist S. 20, Zeile 4—13 von unten, als auf einem Irrthum beruhend, zu streichen, wie ich dies schon anderwärts bemerkt habe. Über einen anderen dem Foucault'schen verwandten Versuch vgl. meine „Mechanik", 2. Auflage, S. 280.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Die Zumuthung, die Denkweise in Bezug auf eine Frage umzubrechen, ist keine angenehme und vor allem keine bequeme. Wer eine neue Einsicht gewonnen hat, weiß am besten, dass derselben immer auch ernste Schwierigkeiten im Wege stehen. Mit lobenswertem, aufrichtigem Eifer wird also nach allem gesucht, was mit der neuen Ansicht nicht im Einklang steht. Man sieht nach, ob man die Thatsachen nach den herkömmlichen Ansichten nicht besser, ebensogut, oder doch annähernd so gut erklären könnte. Und auch das ist ja gerechtfertigt. Aber auch recht ungenierte Einwendungen werden laut, die uns fast verstummen machen. „Wenn es einen sechsten Sinn gäbe, hätte man denselben schon vor Jahrtausenden entdeckt". Es war ja eine Zeit, da es nur sieben Planeten geben durfte. Ich glaube doch nicht, dass auf die philologische Frage, ob das berührte Erscheinungsgebiet ein Sinn zu nennen sei, irgend jemand besonderen Wert legt. Das Gebiet wird auch nicht verschwinden, wenn der Name verschwindet. Sogar das bekam ich zu hören, dass es Thiere ohne Labyrinth gibt, die sich dennoch orientieren, dass also das Labyrinth mit der Orientierung nichts zu schaffen hat. Gewiss, wir gehen auch nicht mit unseren Beinen, da die Schlangen ohne dieselben vorwärts kommen.

Wenn nun auch die Verkünder einer neuen Einsicht von ihrer Publication kein großes Vergnügen zu erwarten haben, so ist doch der bezeichnete kritische Process der Sache sehr förderlich. Alle der neuen An-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

sicht nothwendig anhaftenden Mängel werden nach und nach bekannt und allmählich abgestreift. Jede Überschätzung und Übertreibung muss einer nüchternen Auffassung platzmachen. So hat es sich auch herausgestellt, dass man dem Labyrinth nicht alle Functionen der Orientierung ausschließlich zuweisen darf. Um diese kritische Arbeit haben sich Delage, Aubert, Breuer, Ewald u. a. in hervorragender Weise verdient gemacht. Es kann auch nicht fehlen, dass bei diesem Process neue Thatsachen bekannt werden, welche nach der neuen Auffassung sich hätten voraussagen lassen, die zum Theil auch wirklich vorausgesagt worden sind, welche also für eben diese Auffassung sprechen. Es gelang Breuer und Ewald, das Labyrinth, sogar einzelne Theile des Labyrinthes elektrisch und mechanisch zu reizen und die zugehörigen Bewegungen auszulösen. Man konnte zeigen, dass mit Wegfall der Bogengänge der Drehschwindel, mit Beseitigung des ganzen Labyrinthes auch die Kopforientierung verschwindet, dass ohne Labyrinth kein galvanischer Schwindel besteht. Ich selbst habe schon 1875 einen Apparat zur Beobachtung gedrehter Thiere construirt, der mehrmals in mannigfaltigen Formen nacherfunden und später Cyclostat genannt worden ist.[1]) Bei Versuchen mit den verschiedensten Thieren hat sich nun z. B. gezeigt, dass die Froschlarven erst dann Drehschwindel bekommen, wenn sich bei ihnen

[1]) Anzeiger der Wiener Akad., 30. December 1875.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

der Bogengangapparat entwickelt hat, der anfänglich nicht vorhanden ist (K. Schäfer).

Ein großer Procentsatz der Taubstummen ist mit schweren Labyrintherkrankungen behaftet. Der amerikanische Psychologe W. James hat nun mit vielen Taubstummen Drehversuche angestellt und hat bei einer großen Zahl derselben den Drehschwindel vermisst. Er hat auch gefunden, dass manche Taubstumme beim Untertauchen unter Wasser, wobei sie ihr Gewicht verlieren, wobei also der Muskelsinn keine verlässliche Anzeige mehr gibt, gänzlich desorientiert werden, nicht mehr wissen, wo oben, wo unten ist, und in die größte Angst gerathen, was bei normalen Menschen nicht vorkommt. Solche Thatsachen zeigen schlagend, dass wir nicht durch das Labyrinth allein uns orientieren, so wichtig dasselbe für uns auch ist. Dr. Kreidl hat ähnliche Versuche wie James angestellt, und hat bei gedrehten Taubstummen nicht nur den Drehschwindel, sondern auch die normalerweise durch das Labyrinth ausgelösten reflectorischen Augenbewegungen vermisst. Endlich hat Dr. Pollak bei einem beträchtlichen Procentsatz der Taubstummen keinen galvanischen Schwindel gefunden. Weder die Ruckbewegungen, noch die Augenbewegungen traten ein, welche normale Menschen beim Ritter-Purkinje'schen Versuch zeigen.

Hat ein Physiker einmal die Ansicht gewonnen, dass die Bogengänge die Empfindung der Drehung, beziehungsweise der Winkelbeschleunigung vermitteln,

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

so frägt derselbe fast nothwendig nach den Organen für die Empfindung der Beschleunigung fortschreitender Bewegungen. Selbstredend sucht er für diese Function nicht nach einem Organ, welches in gar keiner verwandtschaftlichen und räumlichen Beziehung zu den Bogengängen steht. Hiezu kommen noch physiologische Momente. Ist einmal die vorgefasste Meinung durchbrochen, dergemäß das ganze Labyrinth Gehörorgan ist, so bleibt, nachdem der Schnecke die Tonempfindung, den Bogengängen die Empfindung der Winkelbeschleunigung zugewiesen ist, noch der Vorhof für weitere Functionen verfügbar. Dieser schien mir nun (insbesondere der Sacculus) vermöge seines Gehaltes an sogenannten Hörsteinen wohl geeignet, um die Empfindung der Progressivbeschleunigung, beziehungsweise der Kopfstellung zu vermitteln. Auch in dieser Vermuthung traf ich wieder mit Breuer sehr nahe zusammen.

Dass eine Empfindung der Lage, der Richtung und Größe der Massenbeschleunigung existiert, lehren die Erfahrungen im Lift, und lehrt die Bewegung in krummer Bahn. Ich habe auch versucht, große Geschwindigkeiten der Fortschreitung rasch herzustellen, und zu vernichten, mit Hilfe verschiedener Vorkehrungen, von welchen nur eine erwähnt werden mag. Wenn ich in dem großen Rotationsapparat außerhalb der Achse im Papierkasten eingeschlossen in gleichmäßiger Rotation bin, die ich nicht mehr empfinde, wenn ich dann den Rahmen *r* beweglich mache und Halt

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

commandiere, so wird meine fortschreitende Bewegung plötzlich gehemmt, während der Rahmen *r* fortrotiert. Da glaube ich nun entgegen der gehemmten Bewegung in gerader Bahn fortzufliegen. Leider kann hier mannigfaltiger Umstände wegen der Nachweis, dass das betreffende Organ im Kopfe sitzt, nicht in überzeugender Weise geführt werden. Nach der Meinung von Delage hat das Labyrinth auch mit dieser Bewegungsempfindung nichts zu thun. Breuer hingegen ist der Ansicht, dass das Organ für fortschreitende Bewegungen beim Menschen verkümmert und die Nachdauer der betreffenden Empfindung zu kurz ist, um ebenso deutliche Experimente zu ergeben wie für die Drehung. In der That hat Crum Brown einmal in einem Reizungszustand an sich selbst eigenthümliche Schwindelerscheinungen beobachtet, die sich sämmtlich durch eine abnorm lange Nachdauer der Drehempfindung erklären liessen, und ich selbst habe in einem analogen Fall beim Anhalten eines Eisenbahnzuges die scheinbare Rückwärtsbewegung auffallend stark und lange empfunden.

Dass wir Änderungen der Verticalbeschleunigung empfinden, ist nicht zweifelhaft. Dass die Otolithenorgane des Vorhofes die Empfindung der Richtung der Massenbeschleunigung vermitteln, wird nach dem Folgenden höchst wahrscheinlich. Dann ist es aber mit einer consequenten Auffassung unvereinbar, letztere Organe für die Empfindung horizontaler Beschleunigungen für unfähig zu halten.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Bei den niederen Thieren schrumpft das Analogon des Labyrinthes zu einem mit Flüssigkeit gefüllten Hörbläschen mit auf Härchen ruhenden, specifisch schwereren Krystallen, Hörsteinen oder Otolithen zusammen. Dieselben scheinen physikalisch sehr geeignet sowohl die Richtung der Schwere, als auch die Richtung einer beginnenden Bewegung anzuzeigen. Dass sie erstere Function wirklich haben, davon hat sich zuerst Delage durch Versuche an niederen Thieren überzeugt, welche nach Entfernung des Otolithenorganes gänzlich desorientiert waren und ihre normale Lage nicht mehr zu finden wussten. Ebenso hat Loeb gefunden, dass Fische ohne Labyrinth bald auf dem Bauche, bald auf dem Rücken schwimmen. Der merkwürdigste, schönste und überzeugendste Versuch ist aber der von Dr. Kreidl mit Krebsen angestellte. Nach Hensen führen gewisse Krebse nach der Häutung selbst feine Sandkörner als Hörsteine in die Otolithenblase ein. Dr. Kreidl nöthigte solche Krebse nach dem sinnreichen Vorschlage von S. Exner mit Eisenpulver *(ferrum limatum)* vorlieb zu nehmen. Wird nun dem Krebs der Pol eines Elektromagneten genähert, so wendet derselbe unter entsprechenden reflectorischen Augenbewegungen sofort den Rücken von dem Pol ab, so wie der Strom geschlossen wird, gerade so, als ob sich die Schwere nach Richtung und Sinn der magnetischen Kraft genähert hätte.[1]) Dies muss man

[1]) Der Versuch war für mich besonders interessant, da ich schon 1874, allerdings mit sehr geringer Hoffnung,

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

in der That nach der den Otolithen zugemutheten Function erwarten. Werden die Augen mit Asphaltlack bedeckt und die Gehörbläschen entfernt, so sind die Krebse gänzlich desorientiert, überkugeln sich, liegen auf der Seite oder auf dem Rücken. Dies erfolgt nicht, wenn nur die Augen gedeckt werden. Für die Wirbelthiere hat Breuer durch eine eingehende Untersuchung nachgewiesen, dass die Otolithen (oder besser Statolithen) in drei den Bogengangebenen parallelen Ebenen gleiten, also wohl geeignet sind, sowohl Größen- als Richtungsänderungen der Massenbeschleunigung anzuzeigen.[1])

Ich habe schon erwähnt, dass nicht jede Orientierungsfunction dem Labyrinth allein zugeschrieben werden darf. Die Taubstummen, welche auch noch

---

und ohne Erfolg versucht hatte, mein eigenes durchströmtes Labyrinth elektromagnetisch zu erregen.

[1]) Man erinnert sich hier vielleicht der Discussion über die stets auf die Füße fallende Katze, welche vor einigen Jahren die Pariser Akademie und mit dieser die Pariser Gesellschaft beschäftigt hat. Ich bin der Meinung, dass diese Fragen durch das in meinen „Bewegungsempfindungen" (1875) Gesagte mit erledigt sind. Auch die von den Pariser Gelehrten zur Erläuterung erdachten Apparate habe ich zum Theil schon 1868 angegeben. Eine Schwierigkeit ist bei der Pariser Discussion nicht berührt worden. Der Katze im freien Fall kann der Otolithenapparat nichts nützen. Sie kennt wohl, so lange sie in Ruhe ist, ihre Orientierung und kennt wohl instinctiv das Ausmaß der Bewegung, welches sie auf die Füße stellt.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

untergetaucht, und die Krebse, welchen auch noch die Augen gedeckt werden müssen, wenn sie bei functionslosem Gleichgewichtsorgan vollkommen desorientiert sein sollen, sind ein Beleg hiefür. Ich sah bei Hering eine junge geblendete Katze, die sich aber für den nicht sehr genauen Beobachter ganz wie eine sehende Katze verhielt. Dieselbe spielte ganz flink mit auf dem Boden rollenden Gegenständen, steckte den Kopf neugierig in offene Laden hinein, sprang geschickt auf den Stuhl, lief mit voller Sicherheit durch offene Thüren hindurch, ohne jemals gegen eine geschlossene Thür anzurennen. Der Gesichtssinn war hier sehr rasch durch den Tast- und Gehörssinn ersetzt worden. So zeigt es sich nach Ewald, dass die Thiere auch nach entferntem Labyrinthe allmählich lernen, sich scheinbar wieder ganz normal zu bewegen, indem ein Theil des Hirnes die ausgefallene Function des Labyrinthes ersetzt. Nur eine gewisse, eigenthümliche Muskelschwäche bleibt zurück, die Ewald dem Fehlen des sonst vom Labyrinth beständig ausgehenden Reizes (Labyrinthtonus) zuschreibt. Wird aber jene die Entsatzfunction ausübende Hirnpartie abgetragen, so sind die Thiere nun ganz desorientiert und hilflos.

Man kann sagen, dass die 1873 und 1874 von Breuer, Crum Brown und mir ausgesprochenen Ansichten, welche eine weitere und reichere Entwicklung der Goltz'schen Auffassung darstellen, sich im ganzen bewährt haben. Mindestens aber haben dieselben fördernd und anregend gewirkt. Selbstredend sind im

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Verlaufe der Untersuchung wieder neue Probleme aufgetreten, die ihrer Erledigung harren, und viel Arbeit bleibt übrig. Zugleich sehen wir aber, wie fruchtbar nach zeitweiliger Isolierung und Kräftigung der naturwissenschaftlichen Specialfächer gelegentlich deren Zusammenwirkung ist.

Es sei deshalb gestattet, die Beziehung zwischen Hören und Orientierung noch unter einem allgemeinern Gesichtspunkt zu betrachten. Was wir Gehörorgan nennen, ist bei den niederen Thieren ein Bläschen mit Hörsteinen. Bei höherer Entwicklung wachsen aus demselben nach und nach 1, 2, 3 Bogengänge heraus, während der Bau des Otolithenorganes selbst zugleich complicierter wird. Aus einem Theil des letzteren *(lagena)* wird endlich bei den höheren Wirbelthieren, insbesonders bei den Säugethieren die Schnecke, die Helmholtz als das Organ der Tonempfindung gedeutet hat. Noch befangen in der Ansicht, dass das ganze Labyrinth Gehörorgan sei, suchte Helmholtz anfänglich, ungetreu den Ergebnissen seiner eigenen musterhaften Analyse, einen anderen Theil des Labyrinthes als Organ für Geräusche zu deuten. Ich habe vor langer Zeit (1873) gezeigt, dass jeder Tonreiz durch Abkürzung der Reizdauer auf eine geringe Anzahl Schwingungen den Charakter der Tonhöhe allmählich einbüßt, und jenen eines trockenen Schlages, eines Geräusches annimmt. Alle Zwischenglieder zwischen Ton und Geräusch lassen sich so aufweisen. Man wird nicht geneigt sein, anzunehmen, dass da an die

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Stelle eines Organes auf einmal ein ganz anderes in Function tritt. Auf Grund anderer Versuche und Erwägungen hält S. Exner die Annahme eines besonderen Organs zur Empfindung der Geräusche ebenfalls für unnöthig.

Bedenken wir nur, ein wie geringer Theil des Labyrinthes der höheren Thiere dem Hören zu dienen scheint, wie beträchtlich dagegen der Theil noch ist, welcher wahrscheinlich der Orientierung dient, wie gerade die erste Anlage des Hörbläschens der niederen Thiere dem Theile des ausgebildeten Labyrinthes gleicht, welcher nicht hört, so drängt sich wohl die Ansicht auf, die Breuer und ich (1874, 1875) ausgesprochen haben, dass das Gehörorgan sich aus einem Organ für Empfindung von Bewegungen entwickelt hat, durch Anpassung an schwache periodische Bewegungsreize, und dass viele bei niederen Thieren für Gehörorgane gehaltenen Apparate gar keine eigentlichen Gehörorgane sind.[1])

Diese Ansicht scheint zusehends mehr Boden zu gewinnen. Dr. Kreidl ist durch gut angelegte Versuche zu dem Schlusse gelangt, dass selbst die Fische noch nicht hören, während seinerzeit E. H. Weber die Knöchelchen, welche die Schwimmblase der Fische mit dem Labyrinth in Verbindung setzten, geradezu als Schalleitungsapparate von ersterer zur letzteren

---

[1]) Vgl. „Analyse der Empfindungen", S. 117 ff.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

betrachtet.[1]) Störensen hat die Erregung von Tönen durch die Schwimmblase, sowie die Fortleitung von Erschütterungen durch die Weber'schen Knöchelchen beobachtet. Er hält die Schwimmblase für besonders geeignet, die von anderen Fischen erregten Geräusche aufzunehmen und zum Labyrinth zu leiten. Er hat in dem Wasser südamerikanischer Flüsse die lauten grunzenden Töne der Fische gehört und meint, dass sich dieselben auf diese Weise locken und finden. Hiernach wären wieder gewisse Fische weder taub noch stumm.[2]) Die Frage, welche hier liegt, dürfte sich lösen durch eine scharfe Unterscheidung zwischen Tonempfindung (eigentlichem Hören) und Wahrnehmen von Erschütterungen. Erstere mag ja selbst bei manchen Wirbelthieren sehr eingeengt sein, vielleicht auch ganz fehlen. Neben der Hörfunction könnten aber die Weber'schen Knöchelchen ganz wohl noch eine andere Function haben. Wenn auch die Schwimmblase nicht in dem einfachen physikalischen Sinn Borellis ein Gleichgewichtsorgan ist, wie Moreau gezeigt hat, so bleibt für sie wahrscheinlich doch noch irgend eine derartige Function übrig. Die Verbindung mit dem Labyrinth begünstigt diese Auffassung. Und so liegt hier noch eine Fülle von Problemen.

Eine Reminiscenz aus dem Jahre 1863 ist es, mit

---

[1]) E. H. Weber, De aure et auditu hominis et animalium, Lipsiae 1820.

[2]) Störensen, Journ. Anat. Phys. London, vol. 29 (1895).

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

welcher ich schließen möchte. Helmholtz' „Tonempfindungen" waren eben erschienen, und die Function der Schnecke schien nun aller Welt klar. In einem Zwiegespräch, welches ich mit einem Doctor der Medicin hatte, erklärte es dieser als ein fast hoffnungsloses Unternehmen, auch die Function der anderen Labyrinththeile ergründen zu wollen, während ich in jugendlichem Übermuth behauptete, diese Frage müsste gelöst werden, und zwar bald, ohne natürlich eine Ahnung zu haben, wie. Zehn Jahre später war die Frage im wesentlichen gelöst.

Ich glaube heute, nachdem ich mich an mancher Frage oft und vergebens versucht habe, nicht mehr, dass man die Probleme nur so übers Knie brechen kann. Allein ein „Ignorabimus" würde ich doch nicht für den Ausdruck der Bescheidenheit halten, sondern eher für das Gegentheil. Richtig angebracht ist dasselbe nur gegenüber verkehrt gestellten Problemen, die also eigentlich keine Probleme sind. Jedes wirkliche Problem kann und wird bei genügender Zeit gelöst werden, ohne alle übernatürliche Divination, ganz allein durch scharfe Beobachtung und umsichtige, denkende Erwägung.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien

Jahr/Year: 1897

Band/Volume: 37

Autor(en)/Author(s): Mach Ernst

Artikel/Article: Über Orientierungsempfindungen. 403-433