

SCHWINDEL OHNE BEFUND

**SYSTEMATISCHES TRAINING
FÜR GLEICHGEWICHT UND SICHERHEIT**

Dr. med. Thomas Weiss

SCHWINDEL OHNE BEFUND

SYSTEMATISCHES TRAINING
FÜR GLEICHGEWICHT UND SICHERHEIT

südwest

INHALTSVERZEICHNIS

Einführung	8
Schwindel ohne körperlichen Befund	10
Schwindel mit körperlichem Befund	11
Übungsprogramme	12
Danksagung	12
Kapitel 1: Über das Gleichgewicht	15
Alles im Lot?	16
Die Gleichgewichtsregulation	17
Oben und unten	18
Links/rechts – vorne/hinten	18
Winkelbeschleunigung	19
Die Körperorientierung	21
Das Gehör – auch ein Teil der Raumorientierung	22
Die Augen – der vestibulo-okuläre Reflex	22
Gleichgewicht und Muskelreflexe	26
Die Bewegungskontrolle	27
Schwindel als Konflikt	30
Was für einen Schwindel habe ich?	30
Kapitel 2: Organische Störungen des Gleichgewichts	33
Gutartiger Lagerungsschwindel	34
Ursachen	34
Häufigkeit	36
Diagnostik und Fehldiagnosen	36
Die Therapie: Kurz, aber heftig!	38
Überflüssige Diagnostik und Therapie	43
Prognose	44
Morbus Menière	44
Neuritis vestibularis	47
Schwindel und Migräne	49
Hintergründe	51
Diagnose	51
Therapie	52

Vestibulopathie	53
Symptome	53
Ursachen	53
Hintergrund	54
Diagnose	54
Therapie	55
Vestibularisparoxysmie	55
Beschwerdebild und Hintergrund	56
Diagnose	56
Therapie	57
Der sogenannte Altersschwindel	58
Komplexe Ursachen	58
Nebenwirkungen	59
Diagnose	60
Sturzgefährdung	60
Sturzangst	62
Therapie	63
Schwindel und die Halswirbelsäule	64
Schwindel durch Medikamente	66
Kapitel 3: Funktionelle Störungen des Gleichgewichts	69
Höhenschwindel und Höhenangst	70
Häufigkeit	70
Auslöser	70
Hintergrund: die Parallaxenverschiebung	71
Physiologisches Schwanken	71
Missglückter Ausgleichversuch	73
Angst, Meidung, Hyperventilation	74
Höhenschwindel und Körperhaltung	75
Diagnose	76
Therapie	77
Wirksame Therapie	77
Mal de Débarquement-Syndrom (MdDS)	80
Häufigkeit	81
Beschwerdebild	82

Diagnose	82
Ursachen und Hypothesen: Die Lösung wird zum Problem	83
Therapie	85
Schwindel als Folge von Kreislaufstörungen	88
Orthostatische Intoleranz – Blutdruckabfall beim Aufstehen	89
Posturales Tachykardiesyndrom (POTS)	91
Phobischer Schwankschwindel	99
Fallgeschichten	99
Bezeichnung und Häufigkeit	101
Symptomatik	102
Wege und Irrwege	103
Abgeschlagenheit und Konzentrationsstörungen	105
Angst vor vielen Menschen	105
Derealisation und Depersonalisation	106
Verlauf	108
Will die Seele etwas zum Ausdruck bringen?	108
Will uns der Körper tatsächlich etwas sagen?	109
Übertriebene Wahrnehmung und Regulation	111
Vorwärts- und Rückwärtsmodell	112
Die Atmung: Das fehlende Glied in der Kette?	113
<i>Exkurs: Über die Atmung</i>	118
Die Atmung bei körperlicher und seelischer Belastung	120
CO ₂ , pH und die Atmung	123
Atemveränderungen	125
Atmung und Gehirndurchblutung	125
Nasen- und Mundatmung	127
Chronische Hyperventilation	129
Akute Hyperventilation	132
Diagnose	133
Therapiemöglichkeiten	134
Zusammenfassung	138
Mischbilder: organischer Schwindel mit funktionellem Schwindel	139
Medikamentöse Schwindeltherapie	139

Kapitel 4: Strukturiertes atemintegrierendes Gleichgewichts- Training (SAGT) nach Dr. Weiss® **145**

Vorbemerkung **146**

Modul 1: Gleichgewichtstraining **146**

Übungen im Liegen 150

Übungen im Sitzen 153

Übung im Sitzen auf einer weichen Unterlage 159

Übung im Sitzen mit angehobenen Füßen 159

Weitere Übungen im Sitzen 160

Drehstuhlübungen 161

Partnerübungen 164

Übungen auf dem Gymnastikball 166

Übungen im Stehen 168

Übungen in verschiedenen Standpositionen und
auf unterschiedlichen Unterlagen 168

Stehübung mit Drehung 172

Übungen im Gehen 172

Gehen auf unebenem Boden 176

Trampolinübungen 177

Ballübungen 178

Übungen auf dem Therapiekreisel 180

Modul 2: Atemtraining **183**

Wahrnehmungsübungen 185

Anspannung/Entspannungsübungen 187

Den Atemrhythmus verändern 189

Die Nasenatmung befreien 190

Körperübungen 190

Rückatemtechniken 197

Anhang **200**

Internet: Aktualisierungen und Erweiterungen **200**

Register **201**

Impressum **206**

EINFÜHRUNG

Als der 36-jährige Architekt mein Sprechzimmer betrat, war ihm die Verzweiflung anzusehen. Er leide jetzt seit mehr als einem Jahr unter einem quälenden Schwindel, berichtete Mathias. Es sei kein Drehschwindel, eigentlich eher eine Benommenheit. Sein Kopf sei „wie in Watte gepackt“, er fühle sich wie ange-trunken, wie hinter einer Glasscheibe, obwohl er die ganze Zeit keinen Tropfen Alkohol zu sich nehme. Er könne sich kaum noch konzentrieren, leide gleichzeitig unter Herzklopfen, Atemnot und einem beängstigenden Druck auf der Brust.

Er sei eigentlich immer sportlich gewesen, aber heute komme er kaum noch die Treppe hoch. Außerdem fühle er sich angespannt, reizbar, innerlich unruhig und gleichzeitig erschöpft. Er falle bei der Arbeit immer wieder aus und befürchte, deswegen gekündigt zu werden. Doch das Schlimmste: Für diese ganzen Beschwerden gebe es keine Erklärung. Er gelte als „kerngesund“!

Es habe alles nach einer angespannten Sitzung im Büro begonnen. Die Luft sei stickig gewesen, er habe immer schlechter Luft bekommen, und am Ende habe er den Eindruck gehabt, er müsse ersticken. Er sei dann ins Krankenhaus gebracht worden. Aber dort sei nichts festgestellt worden. Die Untersuchungen beim HNO-Arzt, Augenarzt und Neurologen hätten genauso wenig einen auffälligen Befund ergeben wie eine Computertomografie und ein MRT (Magnetresonanztomogramm).

Er habe daraufhin eine Psychotherapie begonnen. Dabei sei ihm klar geworden, dass er sich sehr viel Stress mache. Er versuche seitdem, langsamer zu treten. Aber der Schwindel sei nicht besser geworden. Auch die verordneten Antidepressiva hätten wenig gebracht. Er schlafe allerdings etwas besser.

„Entweder ich habe doch eine schwere Krankheit, die bisher nur nicht entdeckt wurde, oder ich bilde mir das Ganze ein“, denke er manchmal.

Seit einigen Jahren kommen immer häufiger Patienten zu uns, die unter solch merkwürdigen Beschwerden leiden wie Mathias. Über Monate, Jahre oder manchmal auch länger quält sie eine Schwindelsymptomatik, für die sich keine organische Ursache finden lässt. In solchen Fällen liegt es nahe, seelische Ursachen zu vermuten. Tatsächlich treten die Beschwerden vor allem bei sensiblen, leistungsorientierten Menschen auf, die eine Zeit lang unter erheblichem Stress gestanden haben. Diesen Patienten wird dann häufig eine Psychotherapie oder ein Aufenthalt in einer psychosomatischen Klinik empfohlen.

Doch die Ergebnisse bleiben meist hinter den Erwartungen und Hoffnungen zurück. Zwar gibt es in aller Regel einen Zusammenhang zwischen Benommenheit und Anspannung, doch die ersehnte Symptommfreiheit stellt sich auch nach einer Psychotherapie kaum ein.

Was also ist das für ein Krankheitsbild? Warum sind die Beschwerden so hartnäckig? Hängt alles an der Angst? Sind es doch innere Konflikte, die einfach nur ganz tief im Verborgenen liegen? Bestehen irgendwo unsichtbare Hindernisse gegen eine Genesung? Solche Fragen haben mich über lange Zeit beschäftigt, während mein Team und ich versucht haben, diesen Patienten zu helfen. Trotz aller Bemühungen hielten sich die Ergebnisse unserer Therapie in bescheidenen Grenzen – was für unsere Patienten und für uns gleichermaßen enttäuschend war.

Ich bin meinem Team aus Ärzten, Krankenschwestern, Arzthelferinnen und insbesondere Physiotherapeutinnen sehr dankbar dafür, dass sie sich alle nicht entmutigen ließen und gemeinsam mit mir hartnäckig nach neuen Erkenntnissen und innovativen Therapieverfahren suchten. Im Lauf der Zeit erlangten wir so eine Vielzahl von Einsichten zum Beschwerdebild, die uns schließlich zu neuen Behandlungsmöglichkeiten führten. Insgesamt hat sich auf diese Weise ein Konzept herausgebildet, das unserer Arbeit den therapeutischen Durchbruch brachte und das für Mathias und andere Patienten eine sehr gute Hilfe bedeutet.

Diese neuen Erkenntnisse möchte ich nun in diesem Buch erstmals offenlegen. Falls Sie unter einem „Schwindel ohne Befund“ leiden, wird es Ihnen vermutlich bereits hilfreich sein, zu verstehen, wie Sie sich Ihre Beschwerden erklären können und auch, dass diese Beschwerden eine tatsächliche, substantielle Grundlage haben.

Inzwischen können wir unseren Patienten ein breites Spektrum zahlreicher Therapieverfahren anbieten. Doch was können Sie tun – ganz auf sich allein gestellt? Dazu finden Sie im zweiten Teil des Buchs eine Vielzahl wirksamer Übungen, die Sie zu Hause selbst durchführen können. Wir glauben, auch hier zumindest teilweise Neuland betreten zu haben, da wir ein systematisches Training entwickeln konnten, in dem Sie schrittweise von Übung zu Übung geleitet werden. Neu dürften auch die Erkenntnisse zur zentralen Rolle der Atmung bei dieser Art des Schwindels sein.

Schwindel ohne körperlichen Befund

In diesem Buch geht es schwerpunktmäßig um Schwindelformen, bei denen weder der Hals-Nasen-Ohrenarzt noch der Neurologe oder Augenarzt einen auffälligen Befund erheben kann. Die Beschwerden werden dann häufig als „psychisch bedingt“ eingeordnet, wobei oft unklar bleibt, wie ein möglicher seelischer Konflikt denn genau diese Symptomatik hervorrufen kann.

Die meisten Betroffenen leiden unter Benommenheit, „Watte“ im Kopf, oder sie fühlen sich wie betrunken, obwohl sie stocknüchtern sind. Beim Gehen sind sie oft unsicher, der Boden scheint nicht stabil zu sein, sie haben das Gefühl, zu schwanken wie auf einem Schiff. Manchmal wird das von der Angst begleitet, wegzukippen, umzufallen oder sich nicht mehr orientieren zu können. Drehschwindel (Karussell), Liftschwindel (Aufzug) oder Bewegungsschwindel (Schiffschaukel) treten seltener oder nur für Momente auf.

Neben der Kernsymptomatik „Benommenheit“ klagen viele Patienten über eine Einschränkung der Konzentration, über Vergesslichkeit, mangelndes geistiges Durchhaltevermögen und das Gefühl, gleichsam „neben sich zu stehen“. Sie fühlen sich „wie nicht ganz richtig präsent“ oder „wie durch eine Glaswand“ von anderen getrennt. Halten diese Beschwerden länger an, kommt nicht selten ein ausgeprägtes Erschöpfungsgefühl hinzu, wobei das Gesamtgeschehen dann etwa als „Burn-out-Syndrom“ bezeichnet wird.

Es gibt weitere Krankheitsbilder ohne messbare körperliche Veränderungen, auf die ich hier gleichfalls ausführlich eingehe. Beim „Mal de Débarquement-Syndrom“ (MdDS) wird der oder die Betroffene nach dem Aussteigen aus einem Schiff oder Flugzeug von einem anhaltenden Schwankschwindel erfasst, der bei manchen Menschen nur Stunden, bei anderen aber Monate oder Jahre anhält. Auch der Höhenschwindel und mehrere Formen des kreislaufbedingten Schwindels werden in diesem Buch umfassend behandelt.

Schwindel mit körperlichem Befund

Beim Schreiben dieses Buchs wurde mir bald deutlich, dass eine Beschränkung auf den „Schwindel ohne Befund“ der komplizierten Materie nicht gerecht werden kann. Das Gleichgewicht selbst und dessen Störungsbilder sind ausgesprochen komplex und funktionelle Beschwerden häufig mit organischen Ursachen verknüpft.

Es ist mir daher ein Anliegen, Ihnen alle häufigen mit Schwindel verbundenen Krankheitsbilder und auch die jeweiligen Therapien näherzubringen – unabhängig von deren Ursache. So dürfte es Ihnen auch leichter fallen, Ihre eigenen Beschwerden zu bewerten und einzuordnen. Der Hinweis, dass die Lektüre dieses Buchs den Besuch beim Facharzt nicht ersetzen kann und soll, dürfte eine Selbstverständlichkeit sein.

Zu Beginn möchte ich Sie erst einmal auf eine kleine Expedition zu den Grundlagen unserer Balance mitnehmen. Hier gibt es Faszinierendes zu entdecken! Vielleicht geht es Ihnen am Ende so wie mir: Ich stehe mit Erstaunen und Hochachtung vor den fast unglaublichen Fähigkeiten, womit uns die Natur in der Raumorientierung ausgestattet hat.

Übungsprogramme

Im zweiten Teil des Buchs finden Sie ein sehr ausführliches Übungsprogramm, das im Wesentlichen aus der täglichen Arbeit mit unseren Patienten hervorgegangen ist. Dieses Programm ist nicht spezifisch für eine einzige Schwindelart. Es dient dazu, Ihr Gleichgewicht generell zu verbessern. Selbst wenn Sie selbst überhaupt nicht unter Schwindel leiden und beispielsweise „nur“ einen Partner bei seinen Übungen begleiten wollen, werden Sie am Ende über eine bessere Körperkontrolle verfügen.

Neben den Schwindelübungen ist beim „Schwindel ohne Befund“ das Atemtraining von entscheidender Bedeutung. Wir erachten dies als zentralen Teil einer erfolgreichen Therapie. Nebenbei wirkt es auch ganz allgemein beruhigend. Sie können es also auch anwenden, wenn Sie einfach innerlich entspannter, ruhiger und ausgeglichener werden möchten.

Danksagung

An erster Stelle danke ich unseren Patienten. Gerade in den Anfangsjahren mussten sie viel Geduld mit uns haben, da wir den „Schwindel ohne Befund“ noch nicht ausreichend verstanden haben und wirksame Therapien erst entwickeln mussten. Bei dieser Entwicklungsarbeit hat mein ganzes Team – insbesondere

die Physiotherapeuten, von denen Sie einige im Übungsteil kennenlernen werden –, Hervorragendes geleistet. Die praktischen Übungen wurden von ihnen entweder im Wesentlichen entwickelt oder für unsere Zwecke modifiziert.

Besonders aber danke ich meiner Frau, die mit hoher Kompetenz und wachem Geist alle Inhalte mit mir immer wieder diskutiert und das Buch gründlich durchgearbeitet hat.

Tipp: Weitere Filme, Aktualisierungen und ein Online-Übungsprogramm (SAGT) finden Sie unter www.weiss.de/schwindel-ohne-befund





Kapitel 1

ÜBER DAS GLEICHGEWICHT

Das Gegenteil von Sehen ist Blindheit. Das Gegenteil von Hören ist Taubheit. Doch was ist das Gegenteil von Gleichgewichtswahrnehmung? Dafür kennen wir keinen Begriff. Wie kann das sein?

Schon im zweiten Monat einer Schwangerschaft, also bereits ganz am Anfang seiner Entwicklung, nimmt ein werdendes Kind Bewegung wahr. Nach der 12. Woche ist sein Vestibularorgan bereits voll funktionsfähig und in der Lage, den mütterlichen Handlungen „auf Schritt und Tritt“ zu folgen. Die Orientierung im Schwerkraftfeld der Erde ist uns Menschen demnach so selbstverständlich, dass wir für ihre Abwesenheit noch nicht einmal eine Bezeichnung besitzen. Zu wissen, wo unten und oben ist, bildet das Fundament unserer Informationsverarbeitung. Wenn diese grundlegende Orientierung im Raum nicht gegeben ist, verlieren wir den Halt, dann zieht es uns buchstäblich den Boden unter den Füßen weg.

Alles im Lot?

Solange alles in Ordnung ist, machen wir uns über das Gleichgewicht in aller Regel keine Gedanken. Es ist einfach selbstverständlich, sich frei zu bewegen, Fahrrad zu fahren oder auf einem Bein stehen zu können. Und wir bewundern Menschen, die auf diesem Gebiet besondere Fähigkeiten besitzen, etwa Turner oder Zirkusartisten.

Doch wenn das Gleichgewicht einmal aus den Fugen gerät, dann scheint die Welt aus den Angeln gehoben zu sein. Die gesamte Orientierung gerät ins Wanken. Wir werden in unseren Grundfesten verunsichert.

Die räumliche Orientierung ist für uns Menschen wichtiger als jede andere Information über die Umwelt. Nicht zu wissen, welcher Wochentag oder wie viel Uhr es gerade ist, mag störend sein. Das Unwissen ruft vielleicht Irritation, aber keine Panik hervor. Wenn ein Mensch jedoch morgens aufwacht und nicht weiß, wo oben oder unten ist, wenn sich alles dreht, wenn er das Gefühl hat, zu kippen oder zu fallen, dann ist das ein zentraler Angriff auf seine physische und psychische Stabilität. Die fehlende Orientierung führt zu vollständiger Hilflosigkeit und dem Gefühl, schutzlos ausgeliefert zu sein. In den Frühzeiten der Menschheitsgeschichte, als wir noch als Jäger und Sammler lebten, wäre

WISSEN SCHÜTZT AUCH NICHT UNBEDINGT!

Über viele Jahre moderierte ich die Fernsehsendung Praxis Dr. Weiss beim SWR. In einer dieser Sendungen ging es um das Thema „Schwindel“. Als Gast hatte ich einen bekannten Hochschullehrer und Experten für Schwindel eingeladen. In einer Drehpause erzählte er mir, dass er eines Morgens mit einem heftigen Drehschwindel aufgewacht war. Die korrekte Diagnose sei ihm sofort in den Kopf geschossen: ein gutartiger Lagerungsschwindel (siehe Seite 34 ff.). Doch trotz seiner richtigen Diagnose und obwohl er die schnell wirksame Therapie kannte, machte sich unmittelbar Panik in ihm breit. Wie man daran sehen kann, ist selbst ein Experte auf diesem Gebiet vor der völligen Verunsicherung nicht geschützt. – Wie er weiter berichtete, verschwand der Schwindel nach der entsprechenden Übung (siehe Seite 38 ff.) schnell, und auch die Panikattacke klang ab.

in einem solchen Fall die Begegnung mit einem hungrigen Löwen fatal ausgegangen. Möglicherweise haben die Panikgefühle oder Panikattacken der von Schwindel Betroffenen hier ihre biologischen Wurzeln.

Die Gleichgewichtsregulation

Für das Sehen haben wir Augen, für das Riechen die Nase, für das Hören die Ohren. Doch welches Organ ist für das Gleichgewicht zuständig? Wahrscheinlich fällt Ihnen als Erstes ein, dass das Gleichgewicht irgendwie mit dem Innenohr zu tun hat. Das stimmt, aber es ist noch um einiges komplizierter, und ich möchte Ihnen einen kurzen Überblick darüber geben, wie unsere Körperhaltung und Orientierung organisiert sind.

Grundsätzlich hat die Natur zu Lösungen gegriffen, die große Ähnlichkeit mit Stabilisatoren oder Beschleunigungssensoren von Smartphones oder Videokameras haben. Dort befinden sich nämlich eine Reihe von Bewegungssensoren, die helfen, Neigung und Beschleunigung so zu messen, dass etwa ein Kamerabild stabilisiert wird, obwohl die Hände des Fotografen leicht wackeln.

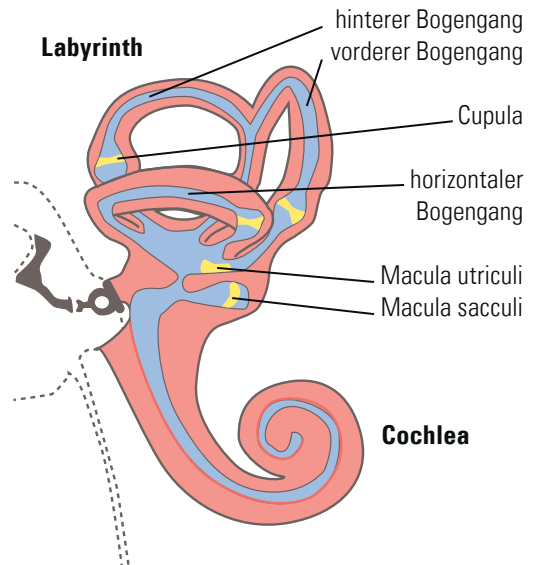


Abb. 1. Der äußere Gehörgang wird innen vom Trommelfell begrenzt. Dahinter liegt das Mittelohr mit den Gehörknöchelchen Hammer, Amboss und Steigbügel. Diese übertragen den Schall auf das Innenohr, wo er in der Hörschnecke (Cochlea) schließlich in elektrische Impulse umgesetzt wird. Angrenzend an die Hörschnecke liegt das Vestibularorgan, das aus drei Bogengängen und den beiden sogenannten Maculaorganen Sacculus und Utriculus besteht.

Oben und unten

Die erste und wichtigste Frage für die Orientierung lautet: Wo ist oben beziehungsweise unten? Dafür gibt es einen speziellen Sensor im *Sacculus* (lat. „Säckchen“) des Innenohrs. Er besteht aus Nervenzellen (*Maculae*, eigentlich „Flecke“) und deren Fortsätzen (*Stereozilien*), die in eine Art Gelatine eingebettet sind. Auf der Oberfläche der „Gelatine“ liegen kleine Steinchen zur Beschwerung. Diese Ohrsteinchen (*Otolithen*) bewirken das feine Ansprechen auf Bewegung. Die Steinchen (dabei handelt es sich um Kristalle aus Calciumcarbonat) sind klein, jeweils nur ein Zehntausendstel Millimeter groß, doch sehr zahlreich. Bei Erwachsenen liegen rund 20.000 dieser Otolithen auf jedem der beiden Sensoren.

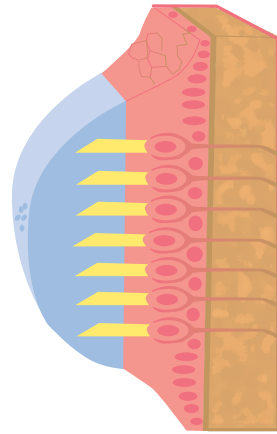


Abb. 2: Das Orientierungssystem im Innenohr zur Wahrnehmung der Richtung (oben/unten), Querschnitt des vertikal ausgerichteten Systems.

Das ganze System ist in etwa senkrecht angeordnet, sodass bei einer Beschleunigung nach oben/unten die feinen Nerven verbogen werden. Durch die Krümmung der Fortsätze entsteht ein Signal, das vom Gehirn als vertikale Beschleunigung nach oben/unten interpretiert wird. Am deutlichsten wird das auf einem Trampolin oder beim Anfahren oder Abbremsen eines Fahrstuhls.

Links/rechts – vorne/hinten

Die Natur hat es sich bei der Frage der horizontalen Beschleunigung (links/rechts beziehungsweise vorne/hinten) recht einfach gemacht: Dasselbe System wie für oben/unten wurde dupliziert und horizontal gekippt.

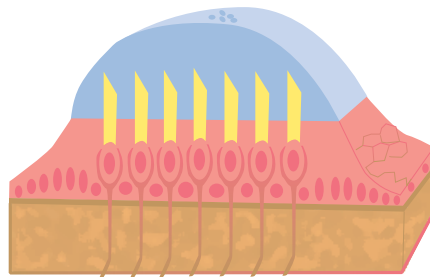


Abb. 3: Das Orientierungssystem im Innenohr zur Wahrnehmung der Richtung (links/rechts beziehungsweise vorne/hinten), Querschnitt des horizontal ausgerichteten Systems.

Es wird *Utriculus* („kleiner Schlauch“) genannt. Auf diese Weise erhalten wir mit dem gedoppelten Organ eine Orientierung zur Seite beziehungsweise nach vorne/hinten. Die etwa 40–70 Nervenzellen im *Utriculus* geben ständig ein gewisses Ruhesignal ab. Bei Beschleunigung nimmt dessen Frequenz dann zu.

Durch die Kombination von *Sacculus* und *Utriculus* ist also bereits eine erste Grundorientierung geschaffen. Die beiden Sinnesorgane dienen zur Wahrnehmung von geradlinigen oder linearen Beschleunigungen. Für jede Kopfstellung gibt es eine bestimmte Signal-Konstellation der vier Sensoren (zwei links und zwei rechts), und anhand deren kann das Gehirn die Position des Kopfs bereits errechnen.

Vielleicht werden Sie jetzt einwenden, dass Sie Ihre Kopfposition sehr wohl wahrnehmen können, obwohl Sie ganz entspannt in einem Sessel sitzen und keineswegs beschleunigt werden. (Wahrscheinlich registrieren Sie lediglich Ihre eigene Schwere und überlegen möglicherweise, ob Sie nicht ein paar Pfunde zu viel „draufhaben“.)

Tatsächlich unterliegen Sie aber auch in völliger Ruhe einer Beschleunigung! Nämlich der Erdanziehung, die einer Beschleunigung entspricht. Falls Ihnen dies nicht sofort plausibel ist, dürfen Sie sich damit trösten, dass die Äquivalenz von Erdanziehung und Beschleunigung erst von Albert Einstein im Jahr 1907 als „Äquivalenzprinzip“ beschrieben und später in seiner *Allgemeinen Relativitätstheorie* weiterentwickelt worden ist. Der *Sacculus* kannte die Relativitätstheorie offenbar schon deutlich früher und nutzt die Erdbeschleunigung seit Jahrmillionen als probate Orientierungshilfe. Auch Wirbeltiere, Fische und sogar Pflanzen bedienen sich dieser „Hightech-Methode“, um oben von unten unterscheiden zu können.

Winkelbeschleunigung

Mit der Orientierung links/rechts, vorne/hinten sowie oben/unten ist uns bereits eine erste grobe Orientierung im Raum möglich. Was noch fehlt, ist die

Drehbewegung. Wir sprechen in diesem Zusammenhang von „Winkelbeschleunigung“, die wir beim Drehen um die eigene Achse oder auf einem Karussell erleben.

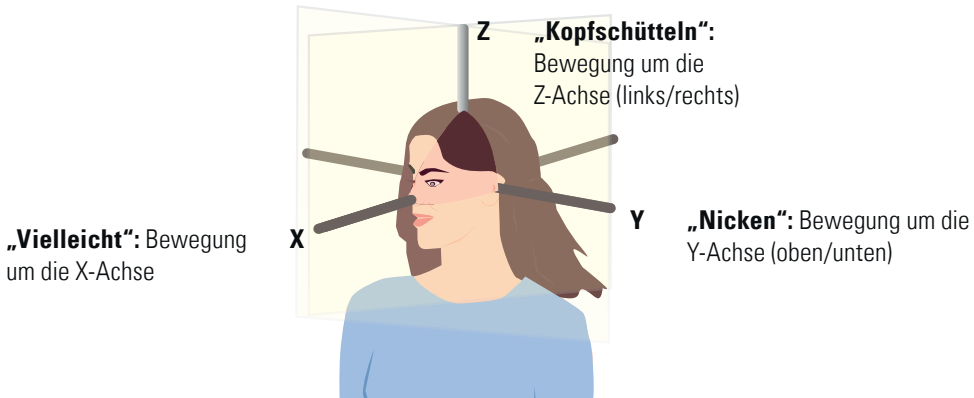


Abb. 4: Winkelbeschleunigung

Wie ein Schiff oder Flugzeug können wir unseren Kopf um drei Achsen bewegen. Wenn Sie nicken, als wollten Sie „Ja“ sagen, bewegen Sie den Kopf um die Y-Achse. Beim Kopfschütteln wie beim „Nein“ wird um die Z-Achse gedreht. Und wenn Sie den Kopf zu einem „Vielleicht“ neigen, rollen Sie um die X-Achse.

Mit diesen Bewegungen wäre die entwicklungsgeschichtlich sehr alte Kombination von Sacculus und Utriculus überfordert. Es wurden also weitere, „modernere“ Sensoren notwendig. Hierfür hat die Natur eine äußerst trickreiche Lösung ersonnen:

Im Prinzip handelt es sich um ein System aus drei ringförmigen Wasserwaagen. Eine für jede der drei Beschleunigungsrichtungen. Diese flüssigkeitsgefüllten Ringe stehen jeweils senkrecht aufeinander. Alle drei Ringe haben eine Verdickung („Ampulle“), in der gemessen wird. Wie im System Sacculus und Utriculus finden sich wieder Nervenzellen (Haarzellen), die mit längeren Fasern (*Stereozilien*) in eine gallertartige Masse (*Cupula*) in die Ringe hineinragen. Nur tragen sie keine Steine auf ihrer Oberfläche.