

## 2 MATERIAL UND METHODIK

Im folgenden Kapitel werden der theoretische Hintergrund des der Arbeit zugrunde liegenden Versuches, die zugehörigen Ziel- und Messparameter und deren Auswertungen sowie das Probandenkollektiv beschrieben.

Wenn zervikal bedingte Nystagmen Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen sind, dann wird fast ausschließlich über einen *phasischen* Horizontalnystagmus lediglich bei Rumpfrotation diskutiert. Eigene Voruntersuchungen weisen aber auf die Bedeutung eines Vertikalnystagmus in der Rumpfflexionsuntersuchung hin. Zur Verbesserung der Datenqualität ist es erforderlich bei neutraler Kopfposition isoliert eine Rumpfflexkursion vorzunehmen. Deshalb haben wir einen dreidimensionalen Rumpfflexkursionsstuhl gebaut. Dieser soll anhand von vestibulär gesunden Studenten in einer placebokontrollierten doppelblinden Studie evaluiert werden. Mittels randomisierter Prüfgruppe soll untersucht werden, ob ein *zervikotonischer Provokationsnystagmus (C-PN)* durch *gehaltene* Rumpfflexkursionen auszulösen ist. Zudem wird versucht placebokontrolliert einen *C-PN* durch eine monophasische zervikale transkutane Elektronervenstimulation (C-TENS) zu beeinflussen. Holtmann et al. berichten bereits über zervikal bedingte Horizontalnystagmen unter *phasischen Reflexbedingungen* mittels eines vollautomatischen Rumpftorsionsstuhls [Holtmann (1989 b)]. Aufgrund der Komplexität wurde das Untersuchungsdesign nicht weiter verfolgt. Es wurde eine neue Untersuchungsmethodik entwickelt, die eine Untersuchung *ohne* Reflexbedingungen darstellt (Kap. 2.3.1). Vorteil ist, dass bisherige Störfaktoren wie Vigilanz, Trainingszustand etc. vermindert werden könnten und der Untersuchungsgang maßgeblich vereinfacht wird.

### 2.1 Beschreibungen des Untersuchungskollektives

Die prospektive placebokontrollierte klinische Studie umfasst insgesamt 49 gesunde weibliche und männliche Probanden zwischen dem 20. und 30. Lebensjahr, welche hinsichtlich ihres Geschlechts und Alters doppelblind in Prüf- und Kontrollgruppe gematcht aufgeteilt wurden.

#### 2.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Die in der ersten Phase des Versuches erhobenen *vestibulospinalen* Untersuchungsparameter durften nicht pathologisch oder auffällig sein. Die *vestibulospinalen* Untersuchungsparameter umfassen einen anamnestischen Schwindelfragebogen, den *Dizziness Handicap Inventory (DHI)* (s. Anhang), eine manuelle Untersuchung der Halswirbelsäule (HWS) (s. Anhang) sowie eine Untersuchung der posturalen Stabilität und des Gleichgewichtssinns auf einer Posturographie-

Platte (*PUG*) (s. Anhang), der *LUZERNER MESSPLATTE*. Der *DHI*-Bogen muss mit null Punkten vom Probanden bewertet worden sein, die manuelle Untersuchung muss eine uneingeschränkte Beweglichkeit der HWS (s. Anhang) in allen vier Freiheitsgraden und einen nicht pathologischen Befund bestätigen.

Aufgrund der entwickelten Stuhlkonstruktion darf das Körpergewicht des Probanden 100 kg nicht überschreiten (Kap. 2.3.1). Als Einschlusskriterium wird ein neurologischer und otologischer Status ohne pathologischen Befund vorausgesetzt. Der Proband darf vier Stunden vor Versuchsbeginn keinen Kaffee, keine Drogen, kein Nikotin oder die Messungen beeinflussende Medikamente (z. B. Antiemetika) zu sich genommen haben. Die Prüfgruppe muss im Verlauf des Versuches – nach einer 30-minütigen zervikalen transkutanen Elektronervenstimulation (C-TENS) – ein typisches zervikal-occipital auftretendes Parästhesieverteilungsmuster entsprechend den Dermatomen C1 – C3, die sog. *Head'schen Zonen*, zeigen (s. Anhang).

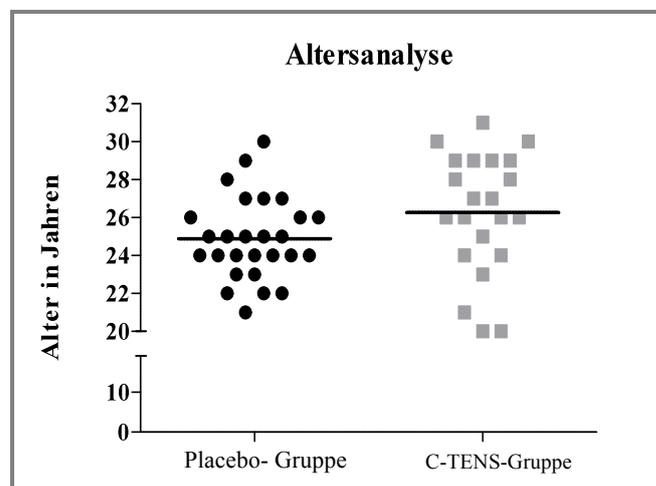
Ausschlusskriterien hingegen sind ein auffälliger neurootologischer Status, implantierte elektronische Geräte (z. B. Herzschrittmacher), Schwangerschaft, ein Körpergewicht über 100 kg, der Konsum von Koffein oder Nikotin bis zu vier Stunden vor Versuchsbeginn, HWS-Beschwerden (z. B. Blockaden) und Schwindel, pathologische oder auffällige Befunde der Untersuchungsparameter (z. B. ein pathologischer manualmedizinischer Tastbefund). In der Prüfgruppe führt ein sich untypisch ausbreitendes Parästhesieschema oder ein mit Hilfe der 3D-Videookulographie (3D-VOG) gemessener Spontannystagmus (SPN) mit einer Amplitude und Frequenz entsprechend der Kategorie von 2 bzw. -2 oder 3 bzw. -3 (Kap. 2.3.3, Tab.1) zum Ausschluss. Ein Nystagmus mit einer leichten Intensität von 1 oder -1 wird nicht als Ausschlusskriterium gewertet, da die Amplituden sehr klein sind (ca. 1-2°) und da man aus wissenschaftlichen Arbeiten weiss, dass auch bei vestibulär gesunden Probanden leichte in Ruhe gemessene Nystagmen auftreten können. Die Nystagmen werden bewusst nicht automatisch erfasst, um eine höhere Messgenauigkeit bei auch nur sehr leicht ausgeprägten Nystagmen zu gewährleisten, wie sie bei Gesunden zu erwarten sind.

Der SPN stellt den Ausgangswert, die sogenannte *Baseline*, in Neutralstellung zwischen Kopf und Rumpf dar.

### **2.1.2 Epidemiologische Charakteristika der Untersuchungskollektive**

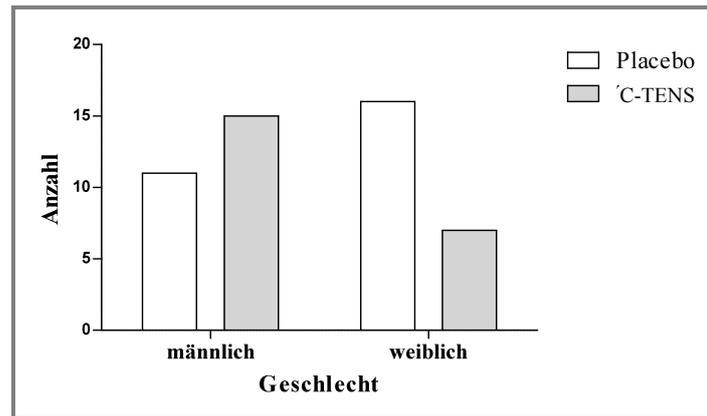
Die Studie umfasst insgesamt 49 Probanden, wovon 26 Männer und 23 Frauen sind. Das Durchschnittsalter des Gesamtkollektivs liegt bei 25,51 Jahren. Die Placebo-Gruppe umfasst 27 Probanden, wovon 16 Frauen und elf Männer sind. Die C-TENS-Gruppe beinhaltet 22

Probanden, von denen sieben Frauen und 15 Männer sind (Abb. 2). In der C-TENS-Gruppe ist das Durchschnittsalter 26 Jahre, in der Placebo-Gruppe liegt es bei 25 Jahren. Beide Probandenkollektive unterscheiden sich im t-Test hinsichtlich ihres Alters nicht signifikant voneinander (Abb. 1). Als methodischer Nachweis der Gruppenvergleichbarkeit dient der Spontannystagmus (SPN), der hier als sogenannte „Baseline“ bezeichnet wird, also in einer Leerposition gemessen. Mit Leerposition ist gemeint, dass sich der Rumpf in einer vertikalen Linie unter dem Kopf befindet und es zu keiner zervikalen Provokation, wie bei einer isolierten Rumpfxkursion kommt. In dieser Stuhlposition, ohne zervikale Belastung, wird mit Hilfe einer dreidimensionalen Nystagmusaufzeichnung (3D-VOG) der Nystagmus digital aufgezeichnet. Hierfür wird in einer Leermessung vor (*Prä*) und nach (*Post*) placebokontrollierter C-TENS-Anwendung die Nystagmusaktivität ohne Rumpfxkursion (SPN) bestimmt.



**Abb. 1** Altersanalyse der beiden Probandenkollektive. Der Mittelwert der Placebo-Gruppe entspricht 25 Jahre, der der C-TENS-Gruppe 26 Jahre. Der Vergleich beider Gruppen wurde im t-Test durchgeführt und ist mit einem p-Wert von 0,0793 nicht signifikant unterschiedlich.

Entsprechend den Ein- und Ausschlusskriterien zeigte fast kein Proband einen nachweisbaren Spontannystagmus (SPN) ( $Nystagmuspunktescorepunkte = 0$ ) vor der placebokontrollierten C-TENS-Applikation. Durch die nicht signifikant unterschiedliche Spontannystagmusaktivität in den Untersuchungsgruppen ist die Voraussetzung eines Vergleiches der beiden Gruppen gegeben. Die Darstellungen des Ergebnisteils in Abb. 8 und 11 geben die Ausgangssituationen im Vertikal- und Horizontalnystagmus ( $SPN_{H/V}$ ) ohne Manipulation durch zervikale Provokationshaltungen auf dem 3D- Rumpfxkursionsstuhl und/oder durch die Intervention einer C-TENS- Gelkisseneinwirkung wieder.



**Abb. 2** Darstellung der Geschlechterverteilung beider Probandenkollektive. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen. Die Analyse wurde mit Hilfe einer Kontingenztafel und einem **Chi-Quadrat**test durchgeführt. Der **p-Wert** liegt bei **0,055**.

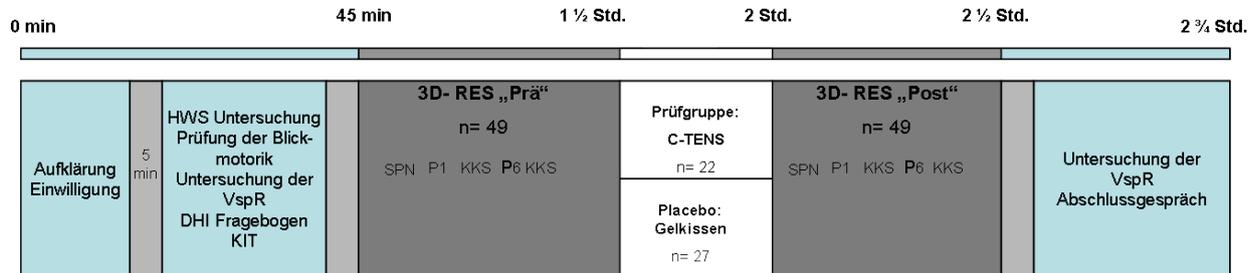
Im spontanen Horizontalnystagmus ( $SPN_H$ ), zeigen beide Gruppen während der *Prä*-Messung (vor Intervention) einen nicht signifikant voneinander abweichenden Befund. Die meisten gesunden Probanden weisen keinen nachweisbaren SPN auf ( $Nystagmuspunktescore = 0$ ). In beiden Gruppen ergibt sich bei vereinzelt Probanden ein leicht ausgeprägter  $SPN_H$  ( $Nystagmuspunktescore = 1$ ). Die durch den exakten Fisher-Test im Chi-Quadrat geprüfte Unterschiedlichkeit vor der ersten Messung zeigt für die Verteilung des  $SPN_H$  in beiden Gruppen ein nicht signifikantes Ergebnis (p-Wert = 1,000) (Abb. 7). Für den  $SPN_V$  gilt Gleiches, die Gruppen unterscheiden sich in der *Prä*-Messung nicht signifikant (p-Wert = 1,000) (siehe Abb. 10, Ergebnisteil). Dieses Testergebnis gilt als Grundlage für die Vergleichbarkeit beider Gruppen.

## 2.2 Der Versuchsaufbau

Der Proband wird über den Versuchsablauf und die damit verbundenen Risiken aufgeklärt und im Anschluss, bei Genehmigung des Probanden, gebeten, die Probandenaufklärung (s. Anhang) sowie die Einverständniserklärung (s. Anhang), welche er bereits 24 Stunden zuvor erhalten hat, zu unterschreiben. Der Versuch umfasst eine Untersuchungsdauer von ca. 2½ Stunden. Bevor der Proband auf dem Untersuchungsstuhl untersucht wird, müssen Erkrankungen des Probanden – durch die *vestibulospinalen* Untersuchungsparameter vom Untersucher als auch subjektiv durch den Probanden (*DHI*) – eingeschätzt und ausgeschlossen werden. Der Untersuchungsstuhl wird im Folgenden ausführlich unter 2.3.1 beschrieben.

Vor Entlassung des Probanden werden die beschriebenen vestibulospinalen Untersuchungen – mit Ausnahme des *DHI* – wiederholt. Dies geschieht, um eine Vergleichbarkeit zwischen den

davor erhobenen Werten und denen nach der placebokontrollierten Messung zu erhalten. Das Befinden des Probanden wird erfragt, bei Beschwerden kann sich eine ärztliche Untersuchung in der Klinik anschließen.



**Abb. 3** zeigt grafisch den Versuchsablauf. In blau hinterlegt sind die Vor- und Nachuntersuchungen. Falls im Vorfeld in der neurootologischen Untersuchung Auffälligkeiten bestehen, führt dies zum Ausschluss des Probanden. Die Einteilung in Placebo- und Prüfgruppe erfolgt randomisiert. Die hellgrau hinterlegten 5 min Felder stellen den Raumwechsel, die Rüstzeit und Vorbereitungszeiten für die nächste Versuchseinheit dar. **Legende:** **HWS:** Halswirbelsäule, **VspR:** Untersuchung der vestibulospinalen Reaktionen mittels Posturographie- Messplatte und Unterberger-Tretversuch, **DHI:** Dizziness Handicap Inventory Fragebogen, **KIT:** Halmagyi Kopfimpulstest, **3D-RES:** 3D- Rumpfxursionsstuhl, „Prä“: vor/ „Post“: nach placebokontrollierter Intervention, **SPN:** In der Leermessung bestimmte Augenbewegung, als Zielparameter gilt der Spontannystagmus (SPN), **P1/P6:** stellen Position 1 bis 6 entsprechen den Rumpfxursionspositionen auf dem 3D- Rumpfxursionsstuhl dar, als Zielparameter gilt der zervikale Provokationsnystagmus, **KKS:** Kraniozervikale kinästhetische Sensibilität, als Zielparameter gilt die subjektiv empfundene Vertikale im Raum/die gefühlte Null jeweils nach Rumpfxursionsauslenkung, **C-TENS:** zervikale Transkutane Nervenstimulation.

Die Untersuchungsparameter umfassen eine klinische HWS-Untersuchung, die Erhebung der vestibulospinalen Reaktionen auf der Posturographie-Platte mit Erfassung des *Romberger* Versuches und des *Unterberger*-Tretversuches. Vom Probanden wird subjektiv ein standardisierter Schwindelanamnesebogen erhoben.

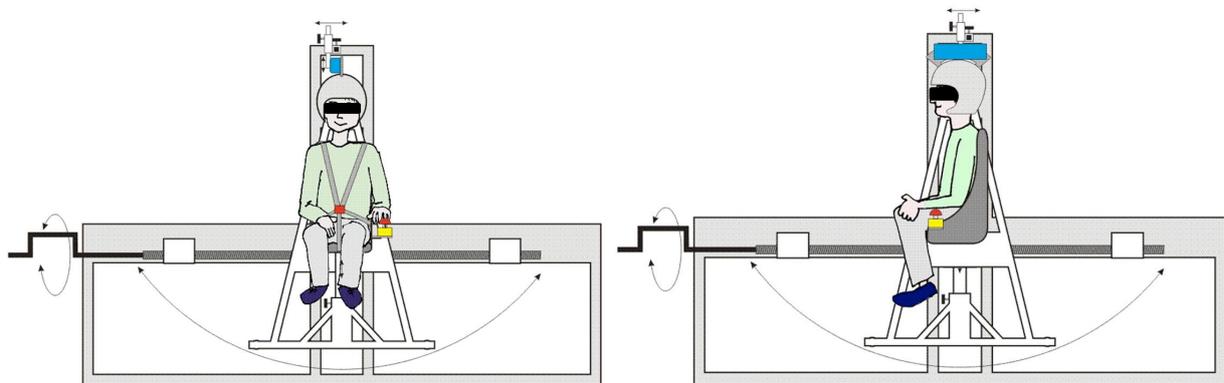
Die klinische Untersuchung der HWS (s. Anhang) beinhaltet die Beurteilung der Statik, die Prüfung der Beweglichkeit in allen vier Freiheitsgraden und eine Palpation. Werden schmerzhafte Resistenzen im Bereich der suboccipitalen und paravertebralen Muskulatur oder Faszien- und Temporalisdruckschmerzpunkte festgestellt, die auf einen pathologisch erhöhten Muskeltonus wie beispielsweise bei einem Morbus Horton hinweisen, werden die Probanden ausgeschlossen.. Bei unauffälligen Befunden wird die vestibulospinale Reaktion mit Hilfe eines Posturographie (PUG)-Systems, der sog. *LUZERNER MESSPLATTE* der Firma *Happersberger otopront GmbH*, im Rahmen von Gleichgewichtsprüfungen nach *Romberg* bestimmt, digital gespeichert und ausgedruckt. Mit dem 1846 entwickelten Stehversuch nach *Romberg* wird eine der wichtigsten Funktionen des Gleichgewichtssinns, nämlich das aufrechte Stehen und Gehen,

geprüft. [Romberg (1846)] Der Stehversuch dient im Vergleich zum Unterberg'schen Test als Richtwert für die Feststellung sehr grober Pathologien im vestibulären System.

Der standardisierte neurologische *Unterberger*-Tretversuch wird zusätzlich auf dem Boden durchgeführt. Nach abgeschlossener vestibulospinaler Untersuchung erfolgt die *Prä*-Messung (vor Intervention) auf dem 3D- Rumpfxkursionsstuhl. Hierbei wird eine Messung des Spontannystagmus (SPN) in Nullstellung ohne zervikale Provokation durch eine dreidimensionale Videookulographie (3D-VOG) bestimmt. Im Anschluss daran werden sechs zervikal provozierende Rumpfxkursionshaltungen für jeweils mindestens 55 s eingenommen, der Kopf bleibt dabei in Ausgangsstellung. Es findet dementsprechend ausschließlich eine Reizung der *extrakraniellen* vestibulären Rezeptoren statt. Während der tonisch gehaltenen Rumpfxkursion erfolgt eine Nystagmusaufzeichnung. Nach C-TENS- bzw. „Placeboanwendung“ durchläuft der Proband die eben beschriebene Messreihe auf dem 3D-Rumpfxkursionsstuhl erneut (*Post*-Messung).

## 2.3 Die Untersuchungsmethoden

### 2.3.1 Der dreidimensionale Rumpfxkursionsstuhl

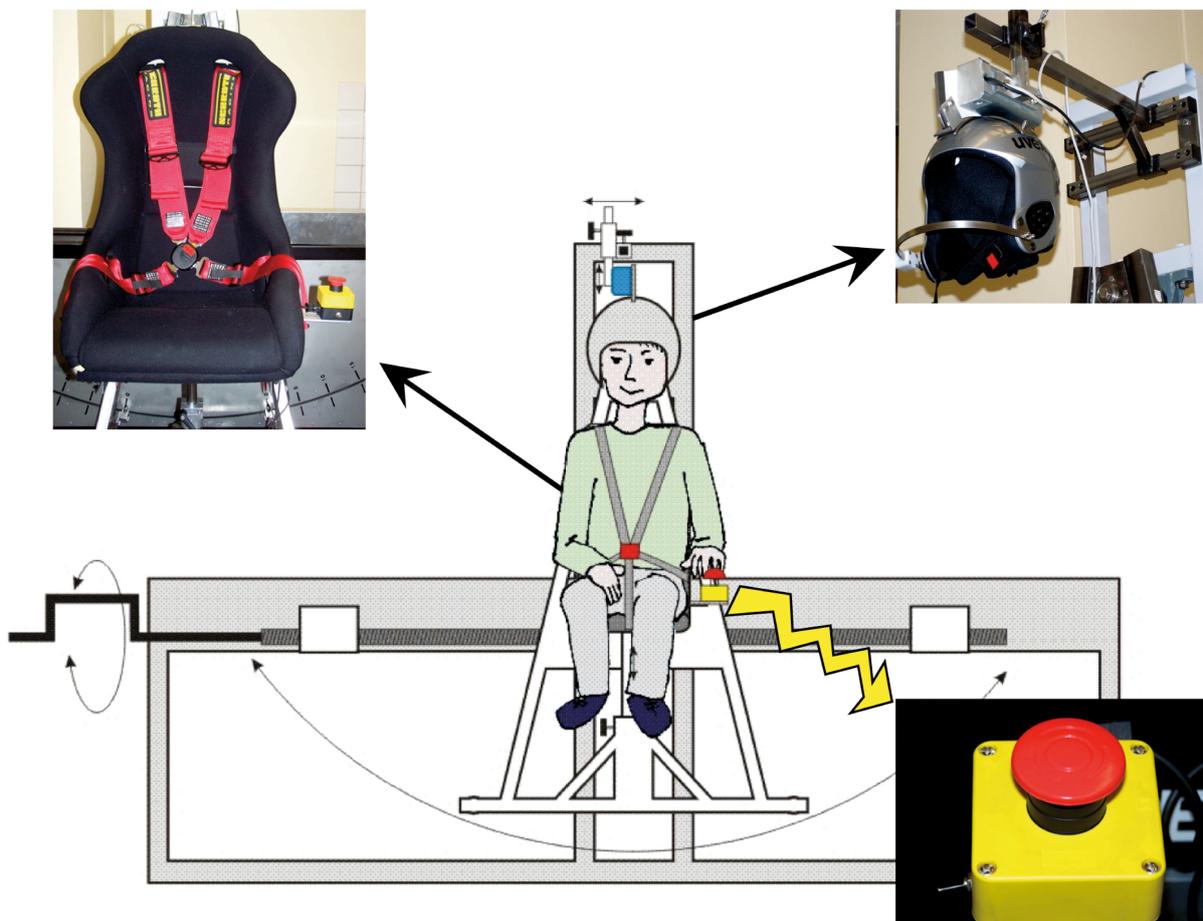


**Abb. 4** graphische Darstellung des 3D- Rumpfxkursionsstuhls in Nullposition ohne zervikale Provokation (SPN-Messung).

Der Untersuchungsstuhl wurde in der mechanischen Fachwerkstatt der Charité, Campus Benjamin Franklin, unter Berücksichtigung der mechanischen Anforderungen und unter Verwendung hochwertiger Materialien gebaut.

Zur Objektivierung der mechanischen Belastbarkeit des Untersuchungsstuhles wurde eine protokollierte Belastungsprobe durchgeführt. Das maximal zulässige Gewicht eines Probanden entspricht 100 kg. Im Belastungsversuch wurde der Stuhl mit 150 kg beschwert und in die maximalen Auslenkungen gekurbelt oder geführt (40°/90°). In diesen Endstellungen der

maximalen mechanischen Belastung wurden Fixpunkte zwischen Gerät und Boden gemessen. Der Geräte-Boden-Abstand an zwei verschiedenen Stellen in maximaler Auslenkung mit einmal 150 kg und im Vergleich dazu bei einem Leerzustand zeigte, dass die Konstruktion auch unter Belastung nicht nachgibt. Der Stuhl, ein Autositz der Marke Recaro, besteht aus strapazierfähigem glasfaserverstärktem Kunststoff und ist an einem Gerüst fixiert, welches sich in einer „Halfpipe-Konstruktion“ befindet. Der freidrehbare Stuhl ermöglicht eine Positionierung in drei Dimensionen, die Kippung zur Seite nach rechts und links, nach vorne und nach hinten sowie die Drehung um die eigene Achse nach rechts und nach links. Ein sogenannter Vierpunktgurt verhindert ein Verrutschen des Probanden während des Versuches (Abb. 5). Aus hygienischen Gründen werden dem Probanden eine OP-Haube und dann ein passender Uvex®-Skihelm aufgesetzt, welcher über einen Magneten an der Oberseite des Helms mit einem Magneten am Gerüst verbunden wird (Abb. 5).



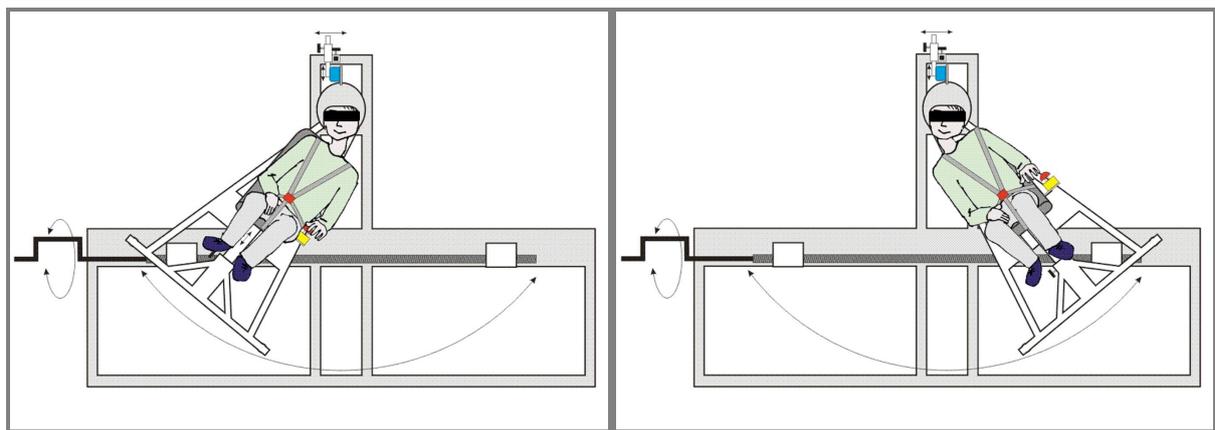
**Abb. 5** 3D- Rumpfxkursionsstuhl mit Vierpunktgurt der Firma *Recaro* (links), Sollbruchstelle mit „Not-Aus-Knopf“ (rechts unten), der am Magneten fixierte Helm (rechts oben).

Der Magnet wird mit einem Netzgerät mit der medizinischen Zulassung vom Typ BF versorgt. Der Zugmagnet weist nach Messung mit einem mechanischen Federkraftmesser eine definierte Haltekraft von 20 kp auf. Diese Kraft bildet im Fehlerfall die vom Untersuchenden zu tragende Last der Halsmuskulatur. Der Stromfluss des Elektromagneten und somit die Fixierung ist jederzeit vom Untersucher und vom Probanden durch eine sog. „Not-Aus-Taste“ bei Bedarf zu unterbrechen. Die Probandensicherheit wird neben einem Potentialausgleicher durch die sogenannte Sollbruchstelle („Not-Aus-Knopf“) gewährleistet (Abb. 5). Die magnetische Fixierung des Kopfes in den verschiedenen Positionen ermöglicht eine separate Bewegung des Rumpfes und im Besonderen der Halsmuskulatur. Für eine Beurteilung ausschließlich der zervikal provozierten Nystagmen ist dieser Versuchsaufbau entscheidend, da unter Gewährleistung einer stationären Kopfposition standardisierte Ergebnisse zur Objektivierbarkeit der Beteiligung der zervikalen Afferenzen bei Schwindelsymptomen durch Ableitung von Nystagmen gewonnen werden könnten.

Im Anschluss wird dem Probanden die bereits beschriebene 3D-VOG-Brille aufgesetzt und nach der oben beschriebenen Durchführung eingestellt. In der *Prä*-Messung wird der SPN in der Nullposition, also in der vestibulären Ruheaktivität, für mindestens 55 s bestimmt. Der SPN stellt die basale Aktivität der nystagmusgenerierenden Strukturen im Bereich des Hirnstamms dar. Er wird folglich durch keinerlei experimentelle Provokation, keine besonderen Rumpf- zu Kopfhaltungen oder besondere Blickwendungen hervorgerufen, sondern ist *spontan* vorhanden. Falls der gemessene SPN hierbei 2 bzw. -2 oder 3 bzw. -3 (+ und – gibt die Schlagrichtung an, die Zahl die Intensität der Amplitude des Nystagmus, genaue Graduierung des SPN siehe Tab.1) beträgt, führt dies zum Ausschluss des Probanden.

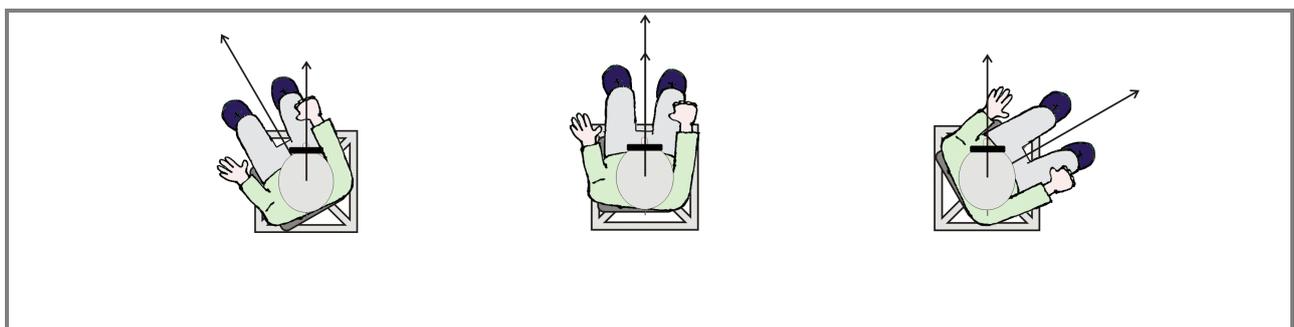
Die Positionsreihe wird für jeden Probanden neu und zufällig ermittelt. Die insgesamt sechs Positionen der *Prä*- und *Post*-Messung sind allerdings in randomisierter Reihenfolge identisch. Der Untersucher führt in allen Positionen die entsprechende Rumpfbewegung bis an die individuelle maximale Auslenkgrenze heran und nimmt auf die im HWS-Status zuvor ermittelte Beweglichkeit Rücksicht. Die Auslenkung sollte bei 5° unterhalb der untersuchten Beweglichkeit bleiben. Der Untersucher notiert die maximal erreichte Gradzahl der Auslenkung auf einem Befundungsbogen (s. Anhang). Die Messungen in den sogenannten zervikalen Provokationshaltungen sind erneut 55 s lang. Nach jeder Auslenkung in den zurückführenden Bewegungen in Richtung Ausgangsstellung wird der Proband gebeten, die subjektiv empfundene Nullposition anzugeben. Diese phasische, also dynamisch wahrgenommene Rumpf-zu-Körper-Bewegung spricht die dynamisch wahrnehmbaren dicken Typ-Ia-Muskelfasern an, welche Relativbewegungen zwischen Kopf und Körper erfassen.

Um ein Verrutschen innerhalb des Helms während der Rumpfauslenkungen zu vermeiden, wurden verschiedene Helmgrößen mit verstellbaren Riemen angefertigt. Fotografisch wurde protokolliert, dass sich die Kopfposition bei runmpfausgelenkter Position nicht signifikant gegenüber der Nullposition verändert (s. Anhang) (Ergebnisteil A). Um vergleichbare Fixpunkte im Gesicht des Probanden in Ausgangsstellung und Endstellung zu erhalten, wurden selbstklebende Punkte im Gesicht des Probanden auf Nase, Wange, Stirn und Kinn aufgeklebt. Im Ergebnisteil A werden die Abweichungen im Helm des Probanden in Ausgangs- und Endstellung dargestellt. Durch einen Schneckentrieb kann der Patient manuell in die gewünschte Auslenkung bewegt werden. Der Schneckentrieb ist hierbei nur in eine Richtung wirksam. Bei einem Loslassen der Kurbel bleibt der Stuhl auf der bis dahin erreichten Auslenkung stehen und kann nicht durch das Gewicht des Patienten anfangen zu pendeln. Bei der Rumpfkippung wird die Gradzahl über eine Skala, die sich hinter dem Untersuchungsstuhl befindet, abgelesen. Die maximale Auslenkung liegt hierbei bei  $40^\circ$  (Abb. 6).



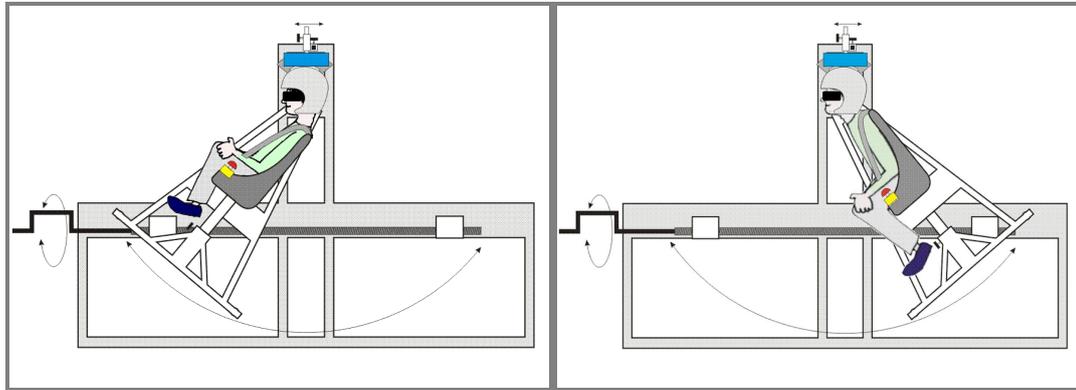
**Abb. 6** Graphische Darstellung des 3D- Rumpfxkursionsstuhls in der Rumpfkippung nach rechts und nach links.

Für die Rumpftorsion wird der Proband nach dem Lösen der den Stuhl in vertikaler Richtung zum Kopf haltenden Schraube in die individuelle Position vom Untersucher geführt. Die Gradzahl der Rumpftorsion ist ebenfalls auf der Skala unterhalb des Untersuchungsstuhles abzulesen und wird auf dem Untersuchungsbogen notiert (Abb. 7).



**Abb. 7** Darstellung des 3D- Rumpfxkursionsstuhls mit Ansicht von oben während der Rumpftorsion nach links und nach rechts.

Für die Rumpfflexion wird der Untersuchungsstuhl um 90° in die Rumpfante- und Rumpfretroflexionsauslenkung gedreht. Es folgt die erneute Platzierung und Fixierung des Helmes am Drehpunkt. Auch hier kann durch den oben beschriebenen Schneckentrieb eine Rumpfauslenkung in Rumpfante- und Rumpfretroflexion erreicht werden (Abb. 8). Die Gradzahlen lassen sich ebenfalls auf einer Skala ablesen.



**Abb. 8** Darstellung des 3D- Rumpfflexionsstuhls in der Rumpfante- und Rumpfretroflexion.

### 2.3.2 Die Posturographie- Messplatte

Die PUG wird zur Beurteilung der posturalen Kontrolle, z. B. bei Störungen der Gleichgewichtswahrnehmung, herangezogen [Kenji (2008)] und gilt in der Literatur als ein gängiges, einfaches und nicht invasives Untersuchungsverfahren. Es können Aussagen über Standstabilität, Balance und Symmetrie und damit über die sensomotorische Kontrolle gewonnen werden. Bestimmte Gleichgewichtserkrankungen zeigen typische Schwankungsmuster auf der PUG-Plattform [Takita (1981)]. Das Verfahren dient zur Ermittlung der Funktionsfähigkeit der Gleichgewichtsregulation unter Belastung der unteren Extremitäten. Kenji [Kenji (2008)] berichtet, dass die PUG ein geeignetes Mittel sei, um Patienten mit Zustand nach einem Beschleunigungstrauma (SHT) mit zervikaler Komponente und Schwindelsymptomatik von Patienten, die nur simulieren würden, zu unterscheiden und damit ein objektives Hilfsmittel für die schwierige Diagnose einer zervikalen Missempfindung und Schwindel nach SHT liefern könnte. Simulationspatienten zeigten im Vergleich zu Patienten mit zervikaler Missempfindung signifikant schwächere Schwankungswerte im *Romberg'schen* Versuch und eine verhältnismäßig große und lange Schwankungsfläche (*wide envelop area, long sway length*).

Eine zentrale Gleichgewichtsstörung äußert sich zumeist mit einer regellosen Fallneigung (Ataxie), wohingegen sich eine peripher-vestibuläre Störung durch eine gerichtete Fallneigung zur betroffenen Seite kennzeichnet [Königer (2006)]. Kogler et al. konnten zeigen, dass bei

Patienten mit Z. n. SHT und zervikalen Beschwerden bei nach hinten gelegtem Kopf die anterioren und posterioren Schwankungen signifikant schlechter wurden. Kogler vermutet, da die Patienten signifikant von gesunden Gruppen abwichen, dass die Probleme des Nackens die posturale Kontrolle verschlechtern. Im Besonderen sei die weit nach vorne ausgestreckte Kopfhaltung eine schwierige Position und Anforderung für das Gleichgewichtsorgan, sich an diese anzupassen. In dieser Position würde laut Kogler das Grundproblem der veränderten Propriozeption deutlich werden [Kogler (2000)].

Die PUG bietet neben dem diagnostischen Modus Programme zum Biofeedback-Training, beispielsweise bei Morbus Menière, akutem Vestibularisausfall oder zentraler Genese. In dieser Untersuchung kommt nur der diagnostische Modus zur Anwendung.

Das PUG- System besteht aus einer Gleichgewichtsplatte, einer Auswerteinheit mit integriertem TFT- Flachbildschirm sowie einer Infrarot-Fernbedienung. Das System führt zunächst einen Selbsttest mit automatischer Kalibrierung der Mess-Sensoren durch. Die PUG- Platte nimmt die Schwankungen des Körpers über Drucksensoren, die sich in der Platte befinden, wahr [Kenji (2008)]. Das System verfügt über fünf Untersuchungsmodi (z. B. *Romberger* und *Unterberger-Tretversuch*), welchen bis zu fünf Einzeltests (z. B. Augen geöffnet, Augen geschlossen, Kopf links gekippt) zugeordnet werden können. Für diese Studie wurde nur der *Romberger* Armhalteversuch mit geöffneten und im Anschluss mit geschlossenen Augen gewählt. Der zu Untersuchende steht hierbei mit parallel angeordneten Füßen auf der zentral gekennzeichneten Trittpläche der Messplatte. Im Untersuchungsraum ist es während der gesamten Untersuchung ruhig und abgedunkelt. Bei geschlossenen Augen erhält der Proband lärmschützende Kopfhörer und zur Abdunklung eine Schlafbrille, um keine Orientierung anhand von Lichtverhältnissen beispielsweise zu ermöglichen. Die Untersuchungsdauer beträgt insgesamt 1 – 3 min, der *Romberger* Versuch wird jeweils 30 s durchgeführt. Während des *Romberger* Armhalteversuchs hält der Proband die Arme um 90° in angehobener Supinationsstellung, so dass die Handflächen nach oben zeigen. Bei der Untersuchung wird auf das Schuhwerk verzichtet, da dieses den direkten Bodenkontakt, die damit verbundene Propriozeption und die Stehfähigkeit beeinträchtigt. Die Befunde erschließen sich aus reproduzierbaren Abweichreaktionen bzw. Fallneigungen zur Seite oder nach hinten. Bei peripheren Läsionen beispielsweise (z. B. Labyrinthausfall) ist eine deutliche Richtungstendenz zu erwarten.

Eine Befundung der Untersuchung wird auf einem ausgedruckten Protokoll (s. Anhang) unter „Anweisung“ (Pfeil) dokumentiert. Hier werden ein Richtungshistogramm, der Schwerpunkt/Mittelpunkt, die lateralen Schwankungen (*x-Richtung*) und die anterioren/posterioren Schwankungen (*y-Richtung*) aufgezeichnet. Das Diagramm des Protokolls gibt grafisch den

Verlauf des auf die Messplatte projizierten Körpergewichtes wieder. Die Schwankungsmuster werden in cm angegeben. Eine zusätzliche Darstellung, gestrichelt gezeigt, stellt den Mittelpunkt der Bewegung dar. Bei einem symmetrischen Schwankungsmuster liegen beide Koordinatensysteme optisch übereinander. Die Weg-Zeit-Diagramme beschreiben den zeitlichen Verlauf des x- und des y-Anteils der Körperschwankung. Im Folgenden werden ausschließlich die statistisch ausgewerteten Variablen beschrieben. Parameter *Delta X* (cm) gibt die maximale laterale Schwankungsdifferenz an, d. h. die Schwankung in  $\pm$  x-Richtung, *Delta Y* (cm) gibt die maximale anteriore/posteriore Schwankungsdifferenz an, d. h. die Schwankung in  $\pm$  y-Richtung, *DX\*DY* bildet das Produkt der Parameter Delta X und Y (cm<sup>2</sup>), *Lateral* (cm) gibt die Summe der absoluten x-Anteile der einzelnen Bewegungsvektoren an, *Anterior-Posterior* (cm) die Summe der absoluten y-Anteile der einzelnen Bewegungsvektoren und *Sway Area* (cm<sup>2</sup>) berechnet nach der *Diener/Dichgans/Bacher*-Gleichung ( $SA = \frac{1}{2} \sum |x_{i+1} y_i - y_{i+1} x_i|$ ). Die beschriebenen Parameter werden sowohl mit geöffneten als auch mit geschlossenen Augen vor und nach der Messung erhoben und in einen Bezug zueinander gesetzt („Post- minus Prä“-Messung= Differenz) und mit dem Kontrollkollektiv verglichen.

Im Anschluss an die PUG wird ein standardisierter *Unterberger*-Tretversuch auf dem Fußboden durchgeführt. Wie Unterberger 1938 und Fukuda zeigen konnten, stellt der Tretversuch den empfindlichsten Vestibularistest dar [Claussen (1992)]. Beim Unterberger-Tretversuch muss der Proband mit verdeckten Augen 80 bis 100 Schritte während einer Minute auf der Stelle mit vorgestreckten, gehobenen und suppinierten Armen treten. Es ist wichtig dass es keine Orientierungspunkte im Raum gibt, der Proband hat die Augen geschlossen, der Raum ist abgedunkelt und lärmgeschützt. Nach ca. 30 bis 40 Schritten geht die innerliche „gespeicherte“ Raumorientierung verloren, und der Patient ist von den Informationen seines vestibulären Systems abhängig [Unterberger (1938)]. Bei einem Ausfall im peripheren vestibulären System kommt es allmählich zur Drehung des Patienten zur Seite des Labyrinthausfalls. Bei den statistisch häufigeren zentralen Gleichgewichtsstörungen durch kardiovaskuläre, stoffwechselbedingte oder traumatische Kleinhirn- und Hirnstammläsionen beobachtet man eine vergrößerte Taumeligkeit mit verbreiterten Lateralschwankungen [Claussen (1992)]. Der Test gilt als pathologisch, wenn der Proband  $> 45^\circ$  abweicht und sich klinische Symptome manifestieren. Dieser *Unterberger*-Tretversuch hilft bei der Beurteilung der vestibulospinalen Reaktion.

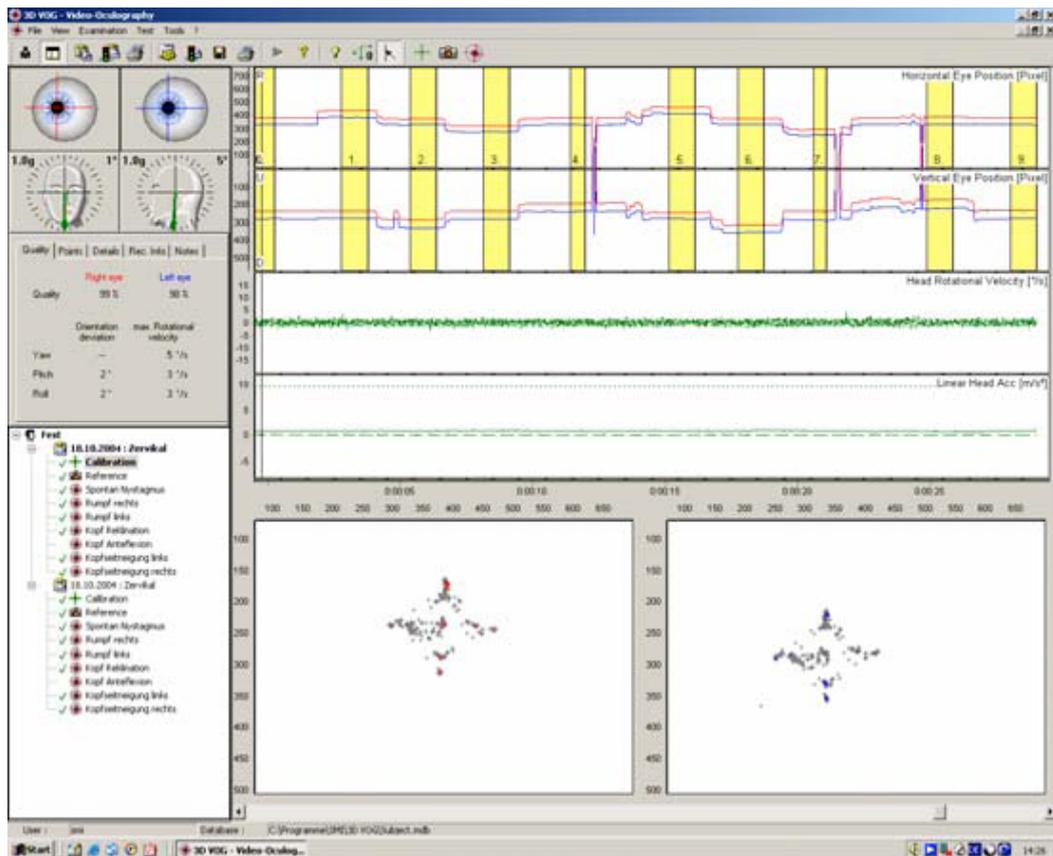
Zusätzlich schätzt der Proband subjektiv sein eigenes Empfinden auf einer *visuellen Analogskala* (VAS) (s. Anhang) sowie durch den *DHI*, welcher speziell für die standardisierte Erfassung der Anamnese von Schwindelpatienten von Jacobson und Newman entwickelt wurde, ein [Jacobson

(1990)]. Der *DHI* standardisiert die Erfassung der Schwindelanamnese in 25 Items, welche in *physische, funktionale und emotionale* Fragebogenkomponenten unterteilt werden. Für den *DHI* können 0 bis 100 Punkte vergeben werden, wobei 0 eine völlige Beschwerdefreiheit bedeutet und als Einschlusskriterium erforderlich ist.

### **2.3.3 Die dreidimensionale Videookulographie**

Die Schwindelwahrnehmung, als subjektive Empfindung ist schwer zu quantifizieren. Bei Störungen im vestibulären System entsteht aber ein Nystagmus, der gemessen werden kann. Entweder mit der Erfassung elektrischer Potentiale (Prinzip der Elektronystagmographie(ENG)), denn das Auge ist ein Dipol, oder besser mit der Videotechnik. Dabei werden die Augenbewegungen im Infrarotlicht erfasst und digital ausgewertet (Prinzip der Videookulographie (VOG)). Als Untersuchungsinstrument dient in dieser Studie ein dreidimensionales-VOG-System der Firma *SMI* (Abb. 10). Die 3D-VOG erfasst die Augenbewegung in drei Dimensionen – horizontal, vertikal und torsional – und zeichnet diese dann mittels eines Videoverfahrens auf. An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass aufgrund zu starker Artefakte auf die Darstellung der torsionalen Nystagmusdimension im Ergebnisteil verzichtet wurde. Eine statistische Auswertung erfolgte, hatte aber demnach keine valide Aussagekraft. Die VOG wird fortlaufend in dieser Arbeit weiter als eine 3D-VOG bezeichnet. An der Videobrille sind zusätzlich Sensoren angebracht, die dreidimensional fortlaufend den Winkel des Kopfes zur Schwerkraftrichtung aufzeichnen. Die Bildsensoren arbeiten mit einer Abtastrate von 50 Hz. Die langsamen Augenbewegungen lassen sich dadurch sehr gut erfassen. Damit sind auch Nystagmen gut darstellbar. Da bei der Bewertung der Augenbewegung beide Augen erfasst und gemessen werden, erfolgt die Aufzeichnung über biokuläre Videokameras. Die zwei Videokameras nehmen das Auge über einen halbdurchlässigen Spiegel auf (Abb. 10). Die analogen Bilddaten gelangen zunächst über einen Videokanaleingang zu einem so genannten „Framegrabber“. Jedes Auge kann getrennt aufgezeichnet werden, da der Framegrabber einen Zweikanalaufbau besitzt und die Informationen getrennt voneinander verarbeitet werden. Die nun digitalisierten Daten gelangen an den Prozessor des Rechners (*CPU*) und durchlaufen eine zweiphasige Bearbeitung. In der ersten Stufe der Bearbeitung erfolgen die Pupillenerkennung und die Erfassung der Translationswerte (vertikal und horizontal). Der Pupillenerkennung dient ein so genanntes Schwellenwertverfahren, bei welchem die Mittelwerte niedrigster Helligkeitswerte in horizontaler und vertikaler Richtung den Pupillenmittelpunkt definieren. Helligkeitswerte werden dabei durch Graustufen definiert, wobei dabei von einer schwarzen Pupille ausgegangen wird und somit die unterste Schwelle der Graustufen festgelegt ist. Die

zweite Stufe der Datenbearbeitung dient der Aufzeichnung der torsionalen Augenbewegung. Da es sich bei der torsionalen Augenbewegung um eine rotierende Bewegung um die Achse der Iris handelt, wird ein sogenannter „*Irisspeicher*“ angelegt. Dabei werden entlang einem Kreis in der Iris um den Pupillenmittelpunkt unterschiedliche Helligkeitsstufen der Iris gespeichert. Aus dem Iriskreis werden ca. 20 Teilbilder pro Einzelbild verwendet. So können torsionale Bewegungen der Irismarkierung durch eine Kreuzkorrelation erkannt werden. Die räumliche Auflösung bei der Erhebung dieser Daten entspricht für die horizontale und die vertikale Augenbewegung  $0,05^\circ$  und für die torsionale  $0,1^\circ$ . Das Oberflächendesign des Programms gliedert sich in ein Hauptfenster, welches in Echtzeit (2,5 ms) die dreidimensionale Augenbewegung zeigt, und in kleinere Nebenfenster, die die Infrarotkamerabilder beider Augen wiedergeben (Abb. 11). Auf der Brillenmitte befindet sich ein Körperbewegungsmesser, welcher die Torsions- sowie Translationsbewegungen wahrnimmt (Abb. 9). Die räumliche Auflösung beträgt hierbei für die Torsion ca  $1^\circ/s$  und für die Translation ca.  $0,05 \text{ m/s}^2$ . Der Messbereich wird für die Torsion mit  $\pm 900 \text{ }^\circ/s$  und für die Translation mit  $\pm 20 \text{ m/s}^2$  angegeben. Zusätzlich wird fortlaufend auf dem Bildschirm der Winkel zur Schwerkraftrichtung graphisch dargestellt. Zu Beginn der Untersuchung wird das Messsystem geeicht (Abb. 9). Hierzu wird der untere Irisbogen des Auges gescannt (Abb. 11), um bei späterer Ermüdung und somit hängendem Oberlid Artefakte der Messung zu vermeiden. Nach Abschluss der Eichung ist darauf zu achten, dass für den Probanden absolute Dunkelheit herrscht, um eine mögliche Fixation zu verhindern. Da die Augen des Probanden mit unsichtbaren Infrarotdioden illuminiert sind, ist es für den Untersucher während des gesamten Versuches möglich, die Augenbewegung am Bildschirm zu verfolgen.



**Abb. 9** Eichvorgang der 3D-VOG. Die gelb markierten Balken stellen die Eichwinkel der neun Punkte auf dem Eichkreuz dar.

Da zervikale Nystagmusreaktionen sehr variabel und zumeist nur schwach ausgeprägt sind und sogar innerhalb einer Messung stark wechseln können, wird durch die direkte und sichtbare Übertragung der Augenbewegungen auf die Bildschirmoberfläche die Auswertung für den Untersucher erleichtert. Bei der Auswertung wurde darauf geachtet, dass stets der gleiche Untersucher die Bewertung der Nystagmen durchführt. Er bewertet hierbei die horizontale, die vertikale und die torsionale Dimension in ihrer Frequenz, Intensität und Richtung. Gerade die Bewertung kleiner Amplituden muss bei Gesunden sichergestellt werden.

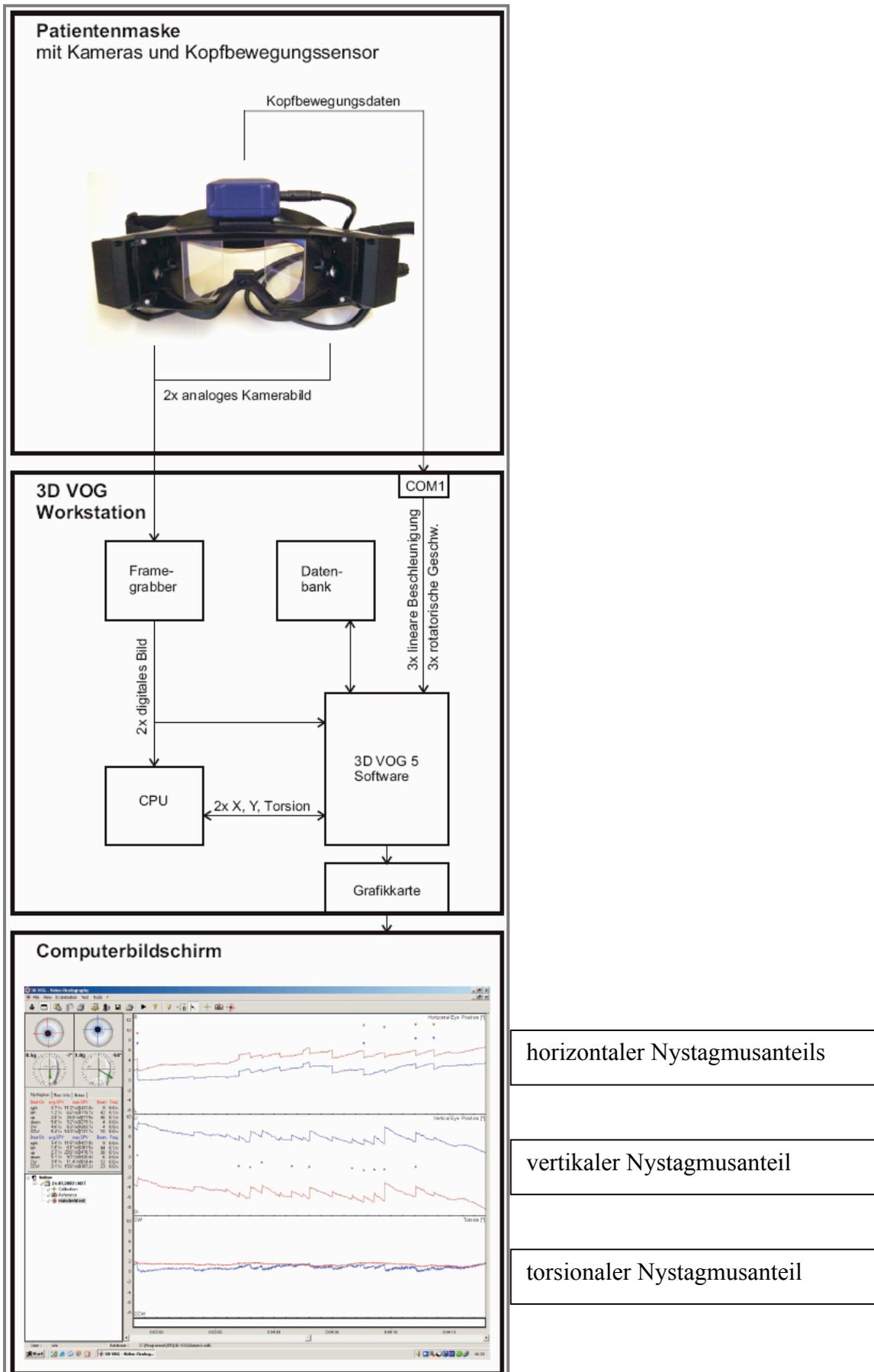


Abb. 10 Versuchsaufbau der 3D-VOG mit Kopfbewegungssensor und den zwei analogen Kamerabildern.

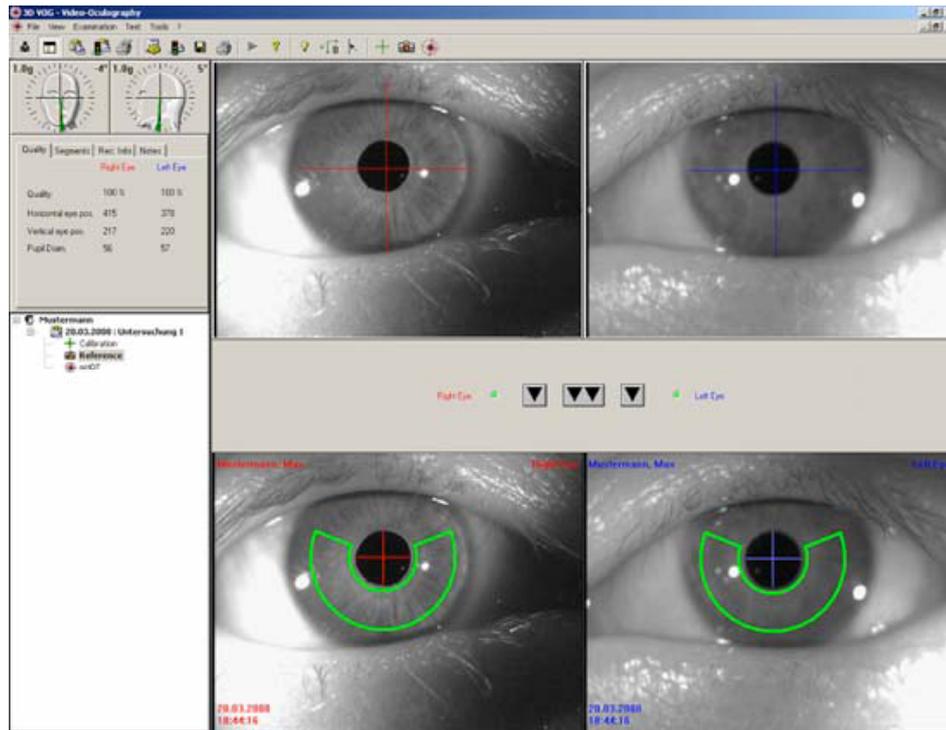


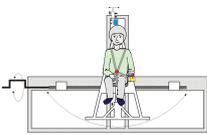
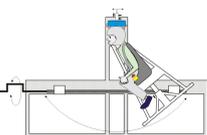
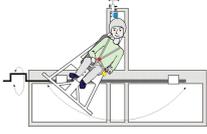
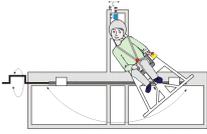
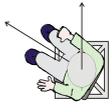
Abb. 11 zeigt den Irisscan der 3D-VOG.

Deshalb haben wir drei Nystagmusamplitudenkategorien definiert, welche den *Nystagmuspunktescore* numerisch von 1 bis 3 hinsichtlich Amplitudenintensität und -frequenz beschreiben. Nystagmuskategorie I fasst die „gerade noch“ erkennbaren Nystagmen zusammen, Nystagmuskategorie II umfasst alle gut erkennbaren Nystagmen, also Nystagmuswerte  $\leq 3$ , zu Nystagmuskategorie III zählen alle Nystagmen, die eine Amplitude  $> 3$  aufweisen (Tab. 1). Nystagmen, die nicht erkennbar sind, erhalten eine 0. Die Richtung eines Nystagmus wird in einem Minus oder einem Plus dargestellt. Die im Folgenden aufgeführten sechs Stuhlpositionen können also folglich im Maximum  $\pm 18$  betragen (Tab. 2). Die Vorzeichen beziehen sich hierbei auf die Beschreibung der Richtung des Nystagmus (Up- oder Downbeat Nystagmus, rechts- oder linksschlägiger Nystagmus).

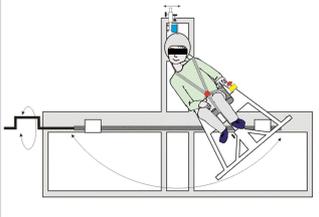
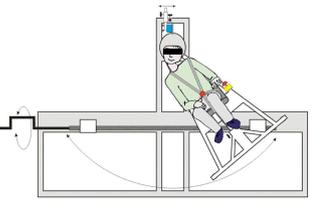
Tab. 1 zeigt die Kategorisierung der Nystagmusreaktionen und deren Werteverteilung ausgedrückt in Punktescores. Auf die Darstellung der Nystagmusrichtungen (Up-, Down-, rechts- und linksschlagender Nystagmus), gekennzeichnet durch die Vorzeichen „-“, und „+“, wird an dieser Stelle verzichtet. Das Probandenkollektiv weist keine Richtungsumkehrungen zwischen erster und zweiter Messung auf.

Nystagmuskategorie	0	I	II	III	Nicht auswertbar
<i>Nystagmuspunktescore</i>	0	1	2	3	-

**Tab. 2** Schema der Nystagmuspunktescorebewertung des 3D- Rumpfxkursionsstuhls, der Punktescore wird in Tab. 1 dargestellt. Die Gesamtpunktescores zeigen die Nystagmusaktivität einer Position an. Die statistische Zusammenfassung wird anhand eines Beispiels in Tabelle 3a und 3b erklärt.

<b>I</b>		<b>Leermessung</b>	<b>Punktescore</b>
<b>SPN</b>			<i>0 – 3 Punkte</i>
	<b>Gesamtpunktescore SPN</b>		<b><i>0 – 3 Punkte</i></b>
<b>II</b>		<b>Positionen</b>	
<b>Rumpfflexion</b>	<b>IIa</b>	<b>Rumpfanteflexion</b>	<i>0 – 3 Punkte</i>
			
		<b>Rumpffretroflexion</b>	<i>0 – 3 Punkte</i>
			
	<b>Gesamtpunktescore Rumpfflexion</b>		<b><i>0 – 6 Punkte</i></b>
<b>Rumpfseitkipfung</b>	<b>IIb</b>	<b>Rumpfseitkipfung nach rechts</b>	<i>0 – 3 Punkte</i>
			
		<b>Rumpfseitkipfung nach links</b>	<i>0 – 3 Punkte</i>
			
<b>Gesamtpunktescore Rumpfkippung</b>		<b><i>0 – 6 Punkte</i></b>	
<b>Rumpftorsion</b>	<b>IIc</b>	<b>Rumpftorsion nach rechts</b>	<i>0 – 3 Punkte</i>
			
		<b>Rumpftorsion nach links</b>	<i>0 – 3 Punkte</i>
			
<b>Gesamtpunktescore Rumpftorsion</b>		<b><i>0 – 6 Punkte</i></b>	

**Tab. 3a** zeigt den statistischen Differenzvergleich („prä – post“) beispielhaft an der zervikotonischen Rumpfkippung (äquivalent anwendbar auf die Rumpftorsion und Rumpfflexion) auf dem 3D-Rumpfkursionsstuhl. Die erste (Prä-) und die zweite (Post-) Messung werden nach Tab. 4a bewertet. Es werden die Rumpfkippungen placebokontrolliert hinsichtlich der Prä- und Post-C-TENS-Anwendung verglichen.

<b>Differenzvergleich für die zervikotonische Rumpfkippung</b>	
<b>Prä- Rumpfkippungen</b>  <i>0 – 3 Scorepunkte pro Kippung</i>	<b>Post- Rumpfkippungen</b>  <i>0 – 3 Scorepunkte pro Kippung</i>
<b>Gesamtsumme Prä- Rumpfkippung</b> <i>0 – 6 Scorepunkte</i>	<b>Gesamtsumme Post- Rumpfkippung</b> <i>0 – 6 Scorepunkte</i>

**Tab. 3b** Differenzvergleich der Nystagmuspunktescores beispielhaft anhand der Rumpfkippung. Die Beispielrechnung wird für beide Probandengruppen angewandt und ermöglicht den Gruppenvergleich.

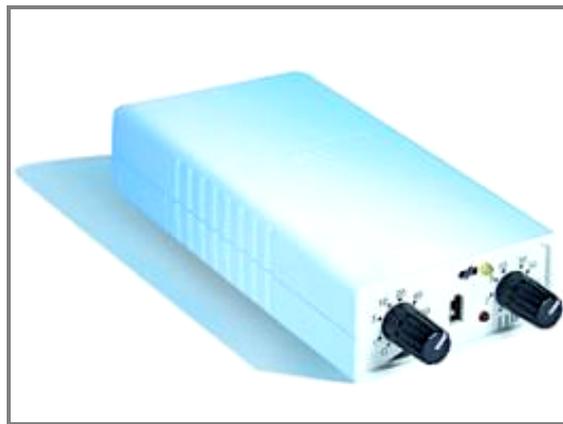
<b>Beispielrechnung für die zervikotonische Rumpfkippung</b>
<p>„post – prä“ = Differenzvergleich</p> <p><i>In Punktescore ausgedrückt:</i></p> <p><b>prä:</b> 3 (Rumpfkippung rechts) + 3 (Rumpfkippung links) = 6</p> <p><b>post:</b> 1 (Rumpfkippung rechts) + 1 (Rumpfkippung links) = 2</p> <p><i>Differenzvergleich:</i></p> <p><b>post – prä = 2 – 6 = -4</b></p>

### 2.3.4 Die zervikale transkutane Elektronervenstimulation

Bei der zervikalen transkutanen Elektronervenstimulation (C-TENS) handelt es sich um eine elektromedizinische Reizstromtherapie mit mono- (gleichbleibender Strom) oder biphasischen (Wechselstrom) Rechteckimpulsen niedriger Frequenz. Die C-TENS stellt ein nichtmedikamentöses und nichtinvasives Behandlungsverfahren dar, welches seinen Haupteinsatz in der Schmerztherapie findet. Die TENS wird bei der Behandlung von Gon- und Coxarthrosen, Sprunggelenks- und Schultergelenksschmerzen, Trigeminus- und Ischiasneuralgien, Migräne, Epicondylitis radialis et ulnaris und beim HWS- und LWS-Syndrom eingesetzt. Neurophysiologisch führt die Elektrostimulation zur Auslösung neuromodulatorischer Regulationen und aktiviert Regel-, Reflex- und Kontrollsysteme. Stimuliert werden periphere Nerven und Rezeptoren in der Haut, Unterhaut, Muskulatur, in

Sehnen und Gefäßen. Die schmerzhemmende Wirkungsweise von TENS ist auf die Unterdrückung der Schmerzweiterleitung in Nervenfasern als auch auf die gesteigerte Ausschüttung von körpereigenen Endorphinen, welche die Schmerzwahrnehmung zentral hemmen, zurückzuführen. Die Schmerzschwelle soll durch die TENS heraufgesetzt werden, indem der Nerv durch die Anwendung stark gereizt, depolarisiert wird und somit für eine kurze Zeit durch die Aktionspotentiale, welche zum Erliegen kommen, wie „blockiert“ wirkt. Der Wirkmechanismus ist bekannt unter dem Namen „gate-control“ [Koeling (1998)].

In diesem Versuch wird das Gerät *TNS SM I* der Firma *schwa medico* eingesetzt (Abb. 12).



**Abb. 12** C-TENS Gerät *SM I* der Firma *schwa-medico*. 1-Kanal-Reizstromgerät mit Nervenblockademöglichkeit.

Mit Hilfe von tragbaren, batteriebetriebenen Reizstromgeräten werden ausschließlich monophasische Rechteckimpulse mit einer Impulsdauer von ca. 50  $\mu$ s – 300  $\mu$ s bei gleichbleibender Frequenz im Bereich von 20 Hz und einer einstellbaren Intensität von bis zu 100 mA über Hautelektroden an den Körper abgegeben. Dem Probanden werden vier Elektroden auf die zervikale paravertebrale Muskulatur, auf Höhe der Spinalnerven von C1 und C3, geklebt.



**Abb. 13** runde selbstklebende C-TENS Elektroden.

Die runden Gummielektroden haben einen Durchmesser von ca. 20 mm und werden mit einem leitfähigkeitsverbessernden Elektrodengel bestrichen, auf Höhe C1 aufgelegt und mit einem Streifen Leukosilk fixiert. Des Weiteren werden zwei selbstklebende, ca. 20 mm große Elektroden (Abb. 13) direkt auf die Muskulatur in Höhe C3 aufgeklebt. Die Elektrodenkabel

werden mit den Elektroden, die Anode (blau) mit den auf C3, die Kathode (rot) mit den auf C1 Höhe klebenden Elektroden und mit dem C-TENS-Gerät (Ausgangsbuchse) verbunden.

Für 30 Minuten wirkt die C-TENS ein, hierbei hat der Proband die Möglichkeit, mithilfe des Intensitätsreglers EIN/AUS selbstbestimmend über die Intensität des Stromflusses zu entscheiden. Der Frequenzregler ist bei allen Probanden auf 20 Hz eingestellt. Wichtig ist bei der C-TENS- Anwendung ein sich typisch ausbreitendes Verteilungsmuster der Parästhesien in den beteiligten Dermatomen (C1 – C3). Der Proband wird hinsichtlich dessen nach ca. 20 min befragt und der Untersucher dokumentiert das Verteilungsmuster nach 30 Minuten auf einem Befundungsbogen (s. Anhang). Für verschiedenste Indikationen ist die Elektrotherapie in der Literatur als eine Therapie zur Verbesserung der Muskelfunktion und -spannung und zur Schmerzlinderung beschrieben [Kroeling (1998)]. TENS unterscheidet sich von anderen Elektrotherapieformen, indem es auf der gesamten segmentalen Ebene, ipsi- und kontralateral, einen schmerzlindernden Effekt zeigt [Kroeling (1998)]; [Cameron (1999)]; [Stucki (2007)].

C-TENS findet im zervikalen Bereich Anwendung bei zervikalen Neuralgien und Symptomen bei Z. n. SHT wie Kopfschmerzen oder Schwindel [Kroeling (1998)]. Kroeling konnte in einem großen Review aufgrund der zu verschiedenen Populationen, der zu differenten Arten und Stärke der Elektrotherapien und der z. T. noch zusätzlichen Behandlungswege – neben der Elektrotherapie – der Patienten keinen eindeutigen Effekt von Elektrotherapie auf Patienten mit akutem, chronischem und myofascialem Nackenschmerz darstellen [Koeling (1998)]. C-TENS im Einzelnen betrachtet zeigte für akute und chronische Nackenschmerzen eine Schmerzverbesserung im Vergleich zur elektronischen Muskelstimulation. Bei myofascialen Nackenschmerzen ergaben sich ebenfalls schmerzlindernde Effekte durch C-TENS [Kroeling (1998)].

Migränepatienten ohne Aura, Spannungskopfschmerz und zervikogenem Kopfschmerz wurden in anderen Studien nicht durch Elektrotherapie am Nerven „blockiert“, sondern durch eine medikamentöse (1 ml 2%ige Pilocainelösung) occipitale Blockade (GON: Greater occipital nerve Blockade). Hierbei zeigte die Prüfgruppe mit zervikogenen Kopfschmerzen orbitofrontal und orbitonuchal eine Schmerzlinderung [Terzi (2002)]. Inan bestätigt die Wirksamkeit von GON, betont allerdings ebenfalls die Effektivität von gezielten Blockaden der Spinalnerven C2/C3 bei Patienten mit zervikogenem Kopfschmerz [Inan (2001)].

Die Spinalnerven C1 – C3 durchlaufen den M. trapezius und M. sternocleidomastoideus sowie intrakranielle intratentorielle Strukturen [Inan (2001)]. Die dorsalen Anteile der Spinalwurzeln, welche den sensorischen Anteil des N. occipitales bilden, kommunizieren ebenfalls mit den kaudalen Anteilen des Nucl. des N. trigeminus. Wie auch in der Einleitung beschrieben, erklären

sich so bei SHT die Symptomentstehung der Kopfschmerzen wie auch die Wirkung der GON- und C-TENS-Therapie [Terzi (2002)]. Diese Wirksamkeiten, der C-TENS-Behandlung als auch die der GON, die die Spinalnerven C2/ C3 mit einschließt, stellen die Grundlage dieser Arbeit und des Einsatzes von C-TENS dar, da es um die isolierte Betrachtung der propriozeptiven Leistung der zervikalen Strukturen bei einer statischen und phasischen Rumpfbewegung geht. Wenn durch C-TENS hypothetisch die Propriozeption zwischen C1 – C3 gehemmt/erschwert wird, könnte der Einfluss dieser Strukturen durch eine objektive Ableitung der Nystagmen deutlich werden.

### **2.3.5 Das Gelkissen**

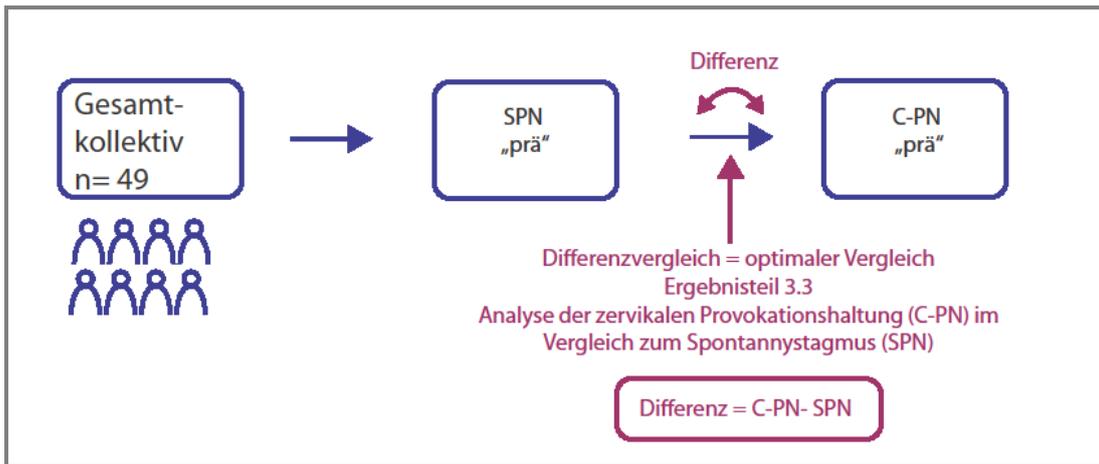
Die Kontrollgruppe (Placebo-Gruppe) erhält als „Intervention“ zwischen den zwei Messungen auf dem 3D- Rumpfxkursionsstuhl ein Gelkissen für den Nacken. Das Gelkissen wird auf dem sitzenden Probanden für 30 min belassen. Es entsteht die gleiche zeitliche Ruhephase zwischen *Prä*- und *Post*-Messung auf dem 3D- Rumpfxkursionsstuhl wie bei der C-TENS-Gruppe (2.3.3). Das Gelkissen liegt in einem verformbaren, körperwarmen Zustand vor und hat keinen Effekt auf die Nackenmuskulatur, die zervikalen Propriozeptoren oder die Spinalnerven.

## **2.4 Datenerhebung und deren statistische Analyse**

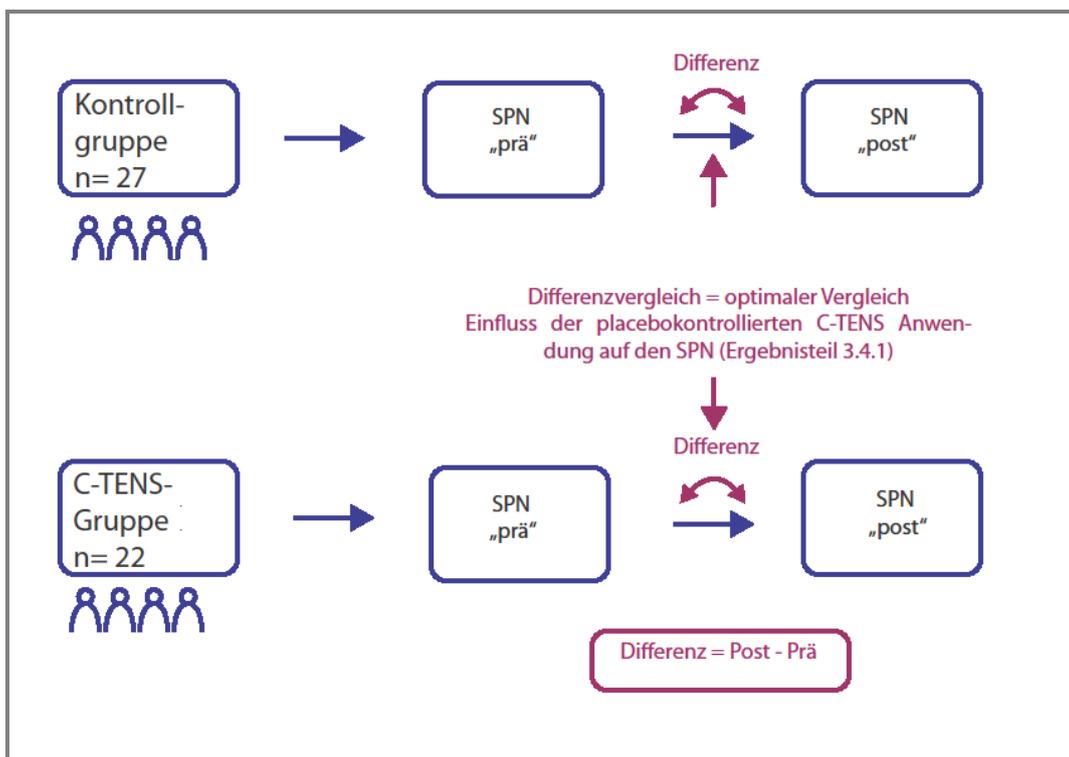
Die Nystagmusinterpretation und -bewertung erfolgt nach der in Kapitel 2.3.3 beschriebenen Einteilung. Die auf der PUG- Messplatte (*LUZERNER MESSPLATTE*) ermittelten Werte werden in den Einheiten cm oder cm<sup>2</sup> angegeben. Die bei dem *Unterberger*-Tretversuch erhobenen Gradzahlen sowie die Auslenkungen des 3D- Rumpfxkursionsstuhles in Gradzahlen werden vom Untersucher von einer Skala abgelesen.

Der optimale Vorher-nachher-Vergleich der zwei gematchten Gruppen ergibt sich durch eine Differenz, in welcher die nach den C-TENS-/Placebo-Anwendungen erhobenen Werte von denen, die vorher erhoben wurden, subtrahiert werden (Abb. 14, 15 und 16). Alle Differenzen stellen das Verhältnis „*post minus prä*“ im Gruppenvergleich dar. Diese Analyse wird im Verlauf der Arbeit als „*Differenzvergleich*“ bezeichnet. Um die hervorgebrachten Ergebnisse auf statistische Signifikanz hin zu überprüfen, wurde bei ungefähr normalverteilten Daten (Schiefe = |Skewness| ≤ 1, Eingipfligkeit) der t-Test durchgeführt. Der Mittelwert und die Standardabweichung (arithmetisches Mittel (AM), Mean) werden bei einer Mindestanzahl von Merkmalsausprägungen (≥ 6) und approximativer Normalverteilung interpretiert. Bei dem t-Test handelt es sich um einen Hypothesentest. Er prüft anhand von zwei Stichproben, ob der Erwartungswert dieser Stichproben gleich ist. Bei nicht normalverteilten Stichproben

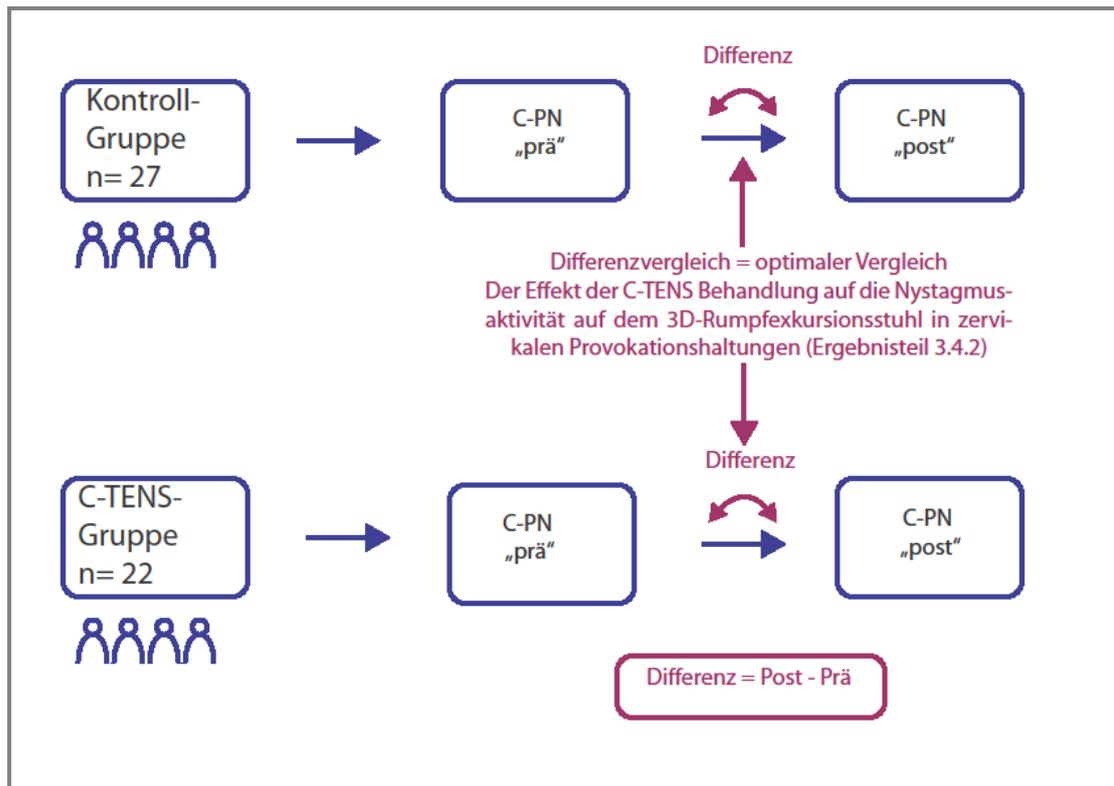
( $|\text{Skewness}| > 1$  oder Mehrgipfligkeit) wird der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Er ist ein parameterfreier Homogenitätstest und dient zur Überprüfung der Signifikanz der Übereinstimmung zweier Verteilungen. Hierbei wie auch bei wenigen Merkmalsausprägungen ( $< 6$ ) werden der Median und der IQR (Interquartilsabstand) zur Dateninterpretation verwendet. Der Wilcoxon-Signifikanztest wurde als ein verteilungsfreier Rangsummentest für zwei verbundene Variablen eingesetzt. Dieser parameterfreie Test überprüft beispielsweise die Hypothese, dass beide Stichproben dieselbe Verteilung aufweisen, und beruht auf der Rangordnung der Absolutwerte der Differenzen zwischen den beiden Stichproben, ohne eine Aussage über die Form der Verteilung zu treffen. Die angegebenen Ränge beschreiben eine Rangreihenfolge, wobei immer bei dem kleinsten Wert begonnen wird. Die angegebene Zahl stellt eine Summe der in der entsprechenden Gruppe vorhandenen Ränge dar. Ein p-Wert  $> 0,05$  wird als *nicht signifikant* (n. s.), ein p-Wert = 0,01- 0,05 wird als *signifikant*, ein p-Wert = 0,001 - 0,01 als *hoch signifikant* und ein p-Wert  $< 0,001$  als *höchst signifikant* bezeichnet. Bei nicht signifikanten Ergebnissen können Tendenzen aufgeführt werden. Im Ergebnisteil werden die beschriebenen Signifikanztests mit den entsprechenden p-Werten dargestellt sowie die dazugehörige graphische Darstellung der Daten in Form von Boxplots und Balkendiagrammen. Die unter Abb. 14 – 16 aufgeführten Abbildungen stellen die im Ergebnisteil durchgeführten Analysen dar. Wie bereits im Kapitel 1.5 „Herleitung der Arbeitshypothesen“ beschrieben, geht es in der ersten Analyse (Abb. 14) um eine Überprüfung, ob eine zervikal provozierende Position, eine statische Rumpfxkursion bei fixiertem Kopf, einen so genannten *zervikalen Provokationsnystagmus (C-PN)* bei vestibulär gesunden, jungen Probanden provozieren kann. In der zweiten Analyse (Abb. 15) wird placebokontrolliert überprüft, ob C-TENS einen Effekt auf den Spontannystagmus (SPN) ausübt. Es findet eine Messung ohne zervikale Belastung statt. In der dritten Analyse untersuchen wir den placebokontrollierten Effekt der C-TENS auf den zervikalen Provokationsnystagmus für alle sechs unter 2.3.1 beschriebenen Rumpfxkursionsauslenkungen (Rumpftorsion nach rechts und links, Rumpfflexion nach vorne und hinten, Rumpfkippung zur Seite nach rechts und nach links). Die Literaturrecherche der Arbeit erfolgte über die Datenbank PubMed und MEDLINE.



**Abb. 14** zeigt die statistische Auswertung des sogenannten Differenzvergleichs für die erste Analyse dieser Arbeit, die Untersuchung eines *zervikal zu provozierenden Provokationsnystagmus (C-PN)* bei vestibulär gesunden, jungen Probanden im Vergleich zur spontanen Augenbewegung (SPN) der ersten Messung („prä“: vor C-TENS). Der SPN entspricht einer Baselinemessung, da er ohne zervikale Provokation gemessen wird.



**Abb. 15** zeigt die zweite Analyse, den placebokontrollierten Effekt der zervikalen Transkutanen Nervenstimulation (C-TENS) auf den Spontannystagmus (SPN). Für diese Analyse dient der Differenzvergleich, welcher die nach der C-TENS- („post“) mit denen vor der C-TENS- („prä“) Anwendung erhobenen Messdaten vergleicht.



**Abb. 16** zeigt die im Ergebnisteil unter 3.4.2 beschriebene dritte Analyse, den placebokontrollierten Effekt der zervikalen transkutanen Nervenstimulation (**C-TENS**) auf tonisch gehaltene Rumpfkursionen bei konstanter Kopfposition (*zervikaler Provokationsnystagmus (C-PN)*). Für diese Analyse dient der Differenzvergleich, welcher die nach der C-TENS- (*post*) mit denen vor der C-TENS- (*prä*) Anwendung erhobenen Messdaten vergleicht („*Post-minus Prä*“-Messung). Diese Differenz wird mit der Differenz der Placebogruppe verglichen.