

Aus der  
Orthopädischen Klinik Kassel  
gemeinnützige GmbH  
Akademisches Lehrkrankenhaus  
der Philips- Universität Marburg

Ärztlicher Direktor  
Professor Dr. med. Siebert

**Dreidimensionale Bewegungsanalyse der Halswirbelsäule  
mit dem Zebris® Ultraschallsystem**

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin  
der Philipps- Universität Marburg

vorgelegt von  
**Jens Tausendfreund**  
aus Bremen

Marburg 2004

Angenommen vom Fachbereich Humanmedizin der Philipps- Universität Marburg am  
13.05.2004. Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. med. Bernhard Maisch

Referent: Prof. Dr. Siebert

Korreferent: Prof. Dr. Lengsfeld

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	1
1.1.	Historischer Überblick	1
1.2.	Problematik und Aufgabenstellung	3
<b>2.</b>	<b>Probandengut</b>	7
<b>3.</b>	<b>Material</b>	
<b>3.1.</b>	<b>Systemkomponenten</b>	8
3.1.1.	Meßaufnehmer CMS 100	8
3.1.2.	Kabeladapter KA 12	10
3.1.3.	Ultraschallmarker	11
<b>4.</b>	<b>Methode</b>	
<b>4.1.</b>	<b>Anamnestischer Befund</b>	12
<b>4.2.</b>	<b>Klinische Untersuchung</b>	13
4.2.1.	Neutral- Null- Methode	13
4.2.2.	Inspektion	13

4.2.3.	Palpation	13
4.2.4.	Bewegungsprüfung	14
4.2.5.	Festlegung des Bewegungsmusters	14
4.2.6.	Radiologische Untersuchung	14
<b>4.3.</b>	<b>Probandenvorbereitung</b>	<b>15</b>
4.3.1.	Aufwärmphase der Probanden	15
4.3.2.	Probandenvorbereitung	15
<b>4.4.</b>	<b>Meßgeräteeinstellung</b>	<b>17</b>
4.4.1.	Meßdatenübertragung	18
4.4.2.	Meßdatenspeicherung	19
<b>4.5.</b>	<b>Meßvorgang</b>	<b>19</b>
<b>4.6.</b>	<b>Statistik</b>	<b>20</b>
<b>5.</b>	<b>Ergebnisse des gesamten Probandenkollektivs</b>	
<b>5.1.</b>	<b>Ergebnisse allgemein</b>	<b>22</b>
5.1.1.	Radiologische Ergebnisse	22
5.1.2.	Vergleich der Mehrfachmessungen	22
<b>6.</b>	<b>Ergebnisse der Neutral- Null- Methode</b>	
6.1.	Weibliche Probanden	29
6.2.	Männliche Probanden	32

<b>7.</b>	<b>Ergebnisse Zebris® Messungen</b>	
<b>7.1</b>	<b>HWS- Rotation weiblich</b>	35
	HWS- Seitneigung innerhalb der Rotation	36
	Schulterrotation innerhalb der Rotation	36
	Schulterseitneigung innerhalb der Rotation	37
<b>7.2.</b>	<b>HWS- Rotation männlich</b>	37
	HWS- Seitneigung innerhalb der Rotation	38
	Schulterrotation innerhalb der Rotation	38
	Schulterseitneigung innerhalb der Rotation	39
<b>7.3.</b>	<b>HWS- Seitneigung weiblich</b>	39
	HWS- Rotation innerhalb der Seitneigung	40
	Schulterrotation innerhalb der Seitneigung	40
	Schulterseitneigung innerhalb der Seitneigung	41
<b>7.4.</b>	<b>HWS- Seitneigung männlich</b>	41
	HWS- Rotation innerhalb der Seitneigung	42
	Schulterrotation innerhalb der Seitneigung	42
	Schulterseitneigung innerhalb der Seitneigung	43
<b>7.5.</b>	<b>HWS- Extension/ Flexion weiblich</b>	43
	HWS- Rotation innerhalb der Extension/ Flexion	44
	HWS- Seitneigung innerhalb der Extension/ Flexion	44
	Schulterrotation innerhalb der Extension/ Flexion	45
	Schulterseitneigung innerhalb der Extension/ Flexion	45

<b>7.6.</b>	<b>HWS- Extension/ Flexion männlich</b>	46
	HWS- Rotation innerhalb der Extension/ Flexion	47
	HWS- Seitneigung innerhalb der Extension/ Flexion	47
	Schulterrotation innerhalb der Extension/ Flexion	47
	Schulterseitneigung innerhalb der Extension/ Flexion	48
<b>8.</b>	<b>Diskussion</b>	50
<b>9.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	59
	<b>Literaturverzeichnis</b>	60
	<b>Tabellenanhang</b>	68
	<b>Danksagung</b>	80

# **1. Einleitung**

In der Literatur werden seit vielen Jahren Methoden beschrieben, um die Gesamtbeweglichkeit der Halswirbelsäule zu beschreiben. Die klinische Bestimmung der Bewegungsausmaße der Halswirbelsäule, sowie die Bestimmung des funktionellen Bewegungsablaufes ist dabei großen Meßfehlern unterworfen und schwer zu objektivieren.

## **1.1. Historischer Überblick**

Bewegungsanalysen wurden schon zu Beginn unseres Jahrhunderts beschrieben und dokumentiert. Sie entstanden aus anatomischen Studien und beschränkten sich zumeist auf bestimmte Regionen der Halswirbelsäule. *Weber* und *Weber (1836)* publizierten eine Beweglichkeitsstudie der oberen Halswirbelsäule, stellten aber keine Meßwerte zur Verfügung. *Henke (1863)* betrieb anatomische Studien der oberen Halswirbelsäule, dessen Ergebnisse von *Hultkrantz (1912)* erst 50 Jahre später aufgegriffen und sehr kontrovers von ihm diskutiert wurden.

Ebenso führten *Fick (1906)* und *Poirier/ Charpy (1926)* wiederum Messungen der oberen Halswirbelsäule durch. Gemeinsam ist diesen Studien, daß sie an Leichenpräparaten durchgeführt worden sind.

Komplexere Studien erfolgten von *Kottke und Mundale (1959)*. Sie befaßten sich mit einem größeren Probandenkollektiv und erarbeiteten in einer klinischen Evaluation eine dreidimensionale Bewegungsstudie am lebenden Objekt.

Zur gleichen Zeit erfolgten die ersten Studien der Halswirbelsäule mit Hilfe der konventionellen Röntgentechniken und der Computertomographie.

Eine weitere Studie wurde von *Werne (1957)* veröffentlicht. Auch er beschränkte sich auf die obere Halswirbelsäule und untersuchte an Leichenpräparaten die Mechanismen der Atlasbeweglichkeit, hierbei wurde die Beweglichkeit in der Sagittalebene beschrieben.

Zunächst schien also erst die obere Halswirbelsäule von größerem Interesse zu sein.

*Lysell (1969)*, *Selecki (1969)* und *Shapiro (1973)* führten die ersten klinisch radiologischen Studien zur Beweglichkeit der Halswirbelsäule durch. *Lysell (1969)* untersuchte die unteren Wirbelsäulenabschnitte. *Selecki (1969)* und *Shapiro (1973)* die oberen Wirbelsäulenabschnitte.

So wurden von Beginn des Jahrhunderts an Studien über die Anatomie und Beweglichkeit der Halswirbelsäule am Lebenden und Toten, zumeist eine oder höchstens zwei Bewegungsrichtungen durchgeführt, welche Zusammenhänge zwischen der Halswirbelsäulenbeweglichkeit und pathologischen Veränderungen aufzeigten. Die Nachteile dieser Studien bestehen in der Methodik der Experimente, deren Ungenauigkeit aufgrund der angewandten Technik und dem nicht Erfassen von Bewegungsmustern. (*Fick (1906)*, *Keller (1945)*, *Jones (1960)*, *Hohl (1964)* und *Barton (1975)*).

Erst die Verbesserung der Computertomographie brachte weitere Fortschritte in der Bewegungsanalyse. *Dvorak (1988)* beschreibt dabei in der Sagittalebene das endgradig axiale Bewegungsausmaß der Halswirbelsäule. In diesen Zeitraum fallen auch die ersten dreidimensionalen Studien. Zunächst wurden diese dreidimensionalen Studien konventionell radiologisch durch *Penning (1978)*, *Panjabi (1981)* und *Brown (1987)*, durchgeführt, etwa zur gleichen Zeit auch computertomographisch in der axialen Rotation von *Penning (1987)*, *Mimura (1989)* und *Dumas (1994)*. Der Einsatz von manuellen Goniometern ermöglichte nun auch Meßmethoden ohne die Probanden/ Patienten einer Strahlenbelastung aussetzen. (*Panjabi (1988)*, *Berger (1990)*, *Alund (1990)*, *Zaki (1990)*, *Mayer (1991)* und *Youdas (1991)*).

Man begann vergleichende Studien durchzuführen. So wurden durch *Alund (1990)*, *Youdas (1991)*, *Lee (1993)*, und *Ordway (1997)* verschiedenen Meßmethoden auf deren Genauigkeit miteinander verglichen.



Erst durch die Anwendung von Elektrogoniometer durch *Tucci (1987)*, *Mimura (1989)* *Alund (1990)*, *Dvorak (1992)*, *Lee (1993)*, *Mayer (1994)* *Pearson (1995)*, und *Ordway (1997)* wurden elektronisch dynamische Messungen eines Bewegungsablaufes der Halswirbelsäule an lebenden Personen möglich.

## **1.2. Problematik und Aufgabenstellung**

Die klinische Bestimmung der Bewegungsausmaße der Halswirbelsäule, sowie des funktionellen Bewegungsablaufes ist großen Meßfehlern unterworfen und schwer zu objektivieren.

Radiologische Methoden sind durch die damit verbundene Strahlenexposition als Probanden/ Patienten belastend anzusehen und dadurch nur bestimmten Fragestellungen vorbehalten. Zudem können nur statische Untersuchungen durchgeführt werden.

Die auf dem Markt befindlichen Videomeßsysteme sind apparativ aufwendig und technisch schwierig zu handhaben.

Elektronische Goniometer sind apparativ aufwendig und arbeiten mit einer Geometrie die von der Wirbelsäule unter Umständen weit entfernt ist. Zudem wird die Meßapparatur an einem Meßstuhl befestigt und erlaubt somit kein freies Arbeiten.

In der vorliegenden Untersuchung sollte eine einfache Methode zur Messung des Bewegungsausmaßes der Halswirbelsäule im dynamischen Ablauf erprobt werden. Ziel der Untersuchung war es, zu überprüfen, ob eine nichtinvasive Bewegungsanalyse mit Hilfe eines dreidimensionalen Bewegungsanalysesystems(Zebris®) in der Kombination mit einer Computersoftware, objektivierbare und reproduzierbare Ergebnisse liefert.

Von großem Interesse ist der Vergleich der publizierten Ergebnisse anderer Meßsysteme mit dem des Zebris® Systems.

Sind die Vorteile des Zebris® Meßsystems wie die frei wählbare Abtastrate, die hohe Präzision von Ultraschallsystemen und die Möglichkeit eine Messung ohne „Gewicht“ am Probanden durchzuführen nachvollziehbar?

Bietet eine non touch Technik in der Durchführung des Experimentes und im klinischen Gebrauch Vorteile?

Um einen direkten Vergleich mit der klassischen klinischen Untersuchungstechnik, der Neutral- Null- Methode, zu erhalten wurden alle Probanden von einem Untersucher sowohl mit dem Zebris® Meßsystem, als auch nach der Neutral- Null- Methode untersucht. Zudem wurden fünf zufällig ausgewählte Probanden von einem zweiten Untersucher mit dem Zebris® Meßsystem untersucht um die unten genannten Fragen bezüglich der Präzision und der Reproduzierbarkeit zu beantworten.

Ziel dieser Studie ist es mit dem Zebris® Meßsystem ein System für den klinischen Alltag zu etablieren, das eine einfache, schnelle, reproduzierbare, präzise und objektivierbare Meßmethode für den klinischen Alltag darstellt.

Folgende Parameter sollen ermittelt werden:

- Alter
- Geschlecht
- Größe
- Gewicht
- Bewegungsausmaß nach der Neutral- Null- Methode
  - in der axialen HWS- Rotation nach links/ rechts
  - in der HWS- Seitneigung nach links/ rechts
  - in der Reklination/ Inkliniation
- Bewegungsausmaß mit dem Zebris® System
  - in der axialen HWS- Rotation nach links/ rechts
  - in der HWS- Seitneigung nach links/ rechts
  - in der Reklination/ Inkliniation

Folgende Fragen sollen in dieser Studie beantwortet werden.

- Bietet das Zebris® System gegenüber der klassischen Neutral- Null- Methode Vorteile in der Anwendbarkeit, in der Handhabung, liefert es Untersucherunabhängige Meßwerte.
- Sind die Meßwerte der Neutral- Null- Methode mit den erhobenen Meßwerten des Zebris® Systems vergleichbar?
- Sind mit dem System isolierte Bewegungen einzelner HWS- Abschnitte zu erfassen?
- Gibt es signifikante, meßbare Unterschiede bezüglich der Altersstruktur der Probanden?
- Wie genau sind die erhobenen Meßwerte des Zebris® Systems im Vergleich zu anderen publizierten Meßwerten?

Weiterhin sollen folgende Meßergebnisse erhoben werden und in Bezug zueinander gesetzt werden.

bei der HWS- Rotation, wie groß ist die:

- Schulterrotation
- Schulterseitneigung
- HWS- Seitneigung

bei der HWS- Seitneigung, wie groß ist die:

- Schulterrotation
- Schulterseitneigung
- HWS- Rotation

bei der Schulterrotation, wie groß ist die:

- HWS- Rotation
- HWS- Seitneigung

- Schulterseitneigung

bei der Schulterseitneigung, wie groß ist die:

- HWS- Rotation

- HWS- Seitneigung

- Schulterrotation

bei der Reklination/ Inklinaton, wie groß ist die:

- Schulterrotation

- Schulterseitneigung

- HWS- Seitneigung

- HWS- Rotation

## **2. Probanden**

Das Untersuchungskollektiv umfaßt eine gesunde Probandengruppe von Individuen im jüngeren Erwachsenenalter. Die Probandengruppe besteht aus 29 Probanden, von denen

14 (48,3%) weiblich sowie 15(51,7 % ) männlichen Geschlechts sind.

Zum Zeitpunkt der Untersuchung liegt das Alter der Probandengruppe zwischen 25 und 34 Jahren, im Durchschnitt bei den weiblichen Probanden bei 28,8 Jahren und bei den männlichen Probanden bei 28,2 Jahren.

### **3. Material**

### **3.1. Systemkomponenten**

#### **3.1.1. Meßaufnehmer CMS 100**

Kompaktmeßaufnehmer mit vier integrierten Mikrofonen mit je einem Mikro-Rechner für volldigitalisierte Signalverarbeitung. Das System ist mit einem Direkt-Anschluß für einen Kabeladapter ausgestattet.





Maße:	450 x 450 x 60 mm ( B x H x T )
Gewicht:	4500 g
Anschlußkabel:	3,5 m
Meßrate:	160 Hz / Anzahl der selektierten Marker (Die Marker können in der Meßrate untereinander variiert werden, so daß langsam bewegte Marker mit niedrigerer Meßrate betrieben werden können. )
Maximaler Meßabstand:	2,5 m
Meßgenauigkeit:	bezogen auf die mittlere Entfernung im X + Y + Z Koordinatensystem 1 Promill
Auflösung:	0,1 mm

### **3.1.2. Kabeladapter KA 12**

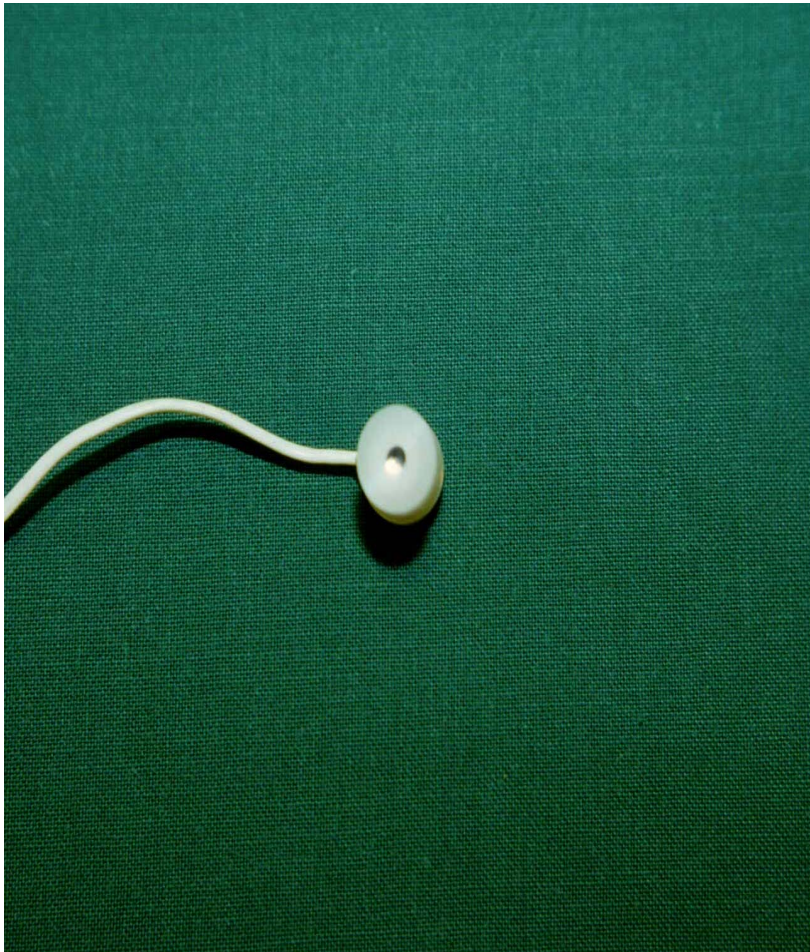
Anzahl der Marker: 12  
Maße: 95 x 46 x 160 ( B x H x T )  
Gewicht: ca. 300 g  
Kabellänge: 4500 mm



### 3.1.3. Ultraschallmarker



Maße: 10 x 8 mm  
Gewicht: ca. 1 g  
Standard- Kabellängen: 300, 500, 750, 1000, 1500 mm  
Abstrahlungs-  
und Öffnungswinkel: mindestens 120°



#### **4. Methode**

## **4.1. Anamnestischer Befund**

Bei der Probandengruppe wurden zur Dokumentation folgende Daten notiert:

Eigenanamnese:	derzeitiger Gesundheitszustand, Hinweise auf eine Erkrankung des Bewegungsapparates, Störungen des Gleichgewichtorgans, Unfälle, Arbeitsplatzsituation, vorangegangenen Röntgenuntersuchungen der Wirbelsäule und etwaige Manipulation der Wirbelsäule
Schmerzanamnese:	Häufigkeit von Kopfschmerzen, Verspannungsschmerzen, Intensität, Lokalisation, Ausstrahlung und Zeitpunkt des Auftretens
Familienanamnese:	Erkrankungen des Skelettsystems bei den Eltern, Geschwistern und Verwandten des Probanden
Sportanamnese:	betriebe Sportarten, Häufigkeit und beim „Nichtbetreiben“ eines Sportes Gründe hierfür
Persönliche Angaben:	Größe und Gewicht.

## **4.2. Klinische Untersuchung**

### **4.2.1 Neutral- Null- Methode**

Im Rahmen der Voruntersuchungen, siehe Punkt 4.2.4.

### **4.2.2. Inspektion**

Als wichtige Faktoren für die Inspektion wurden ausgewählt, die Sitzhaltung, die Kopfhaltung, der Schulterstand und der lotgerechte Aufbau der Halswirbelsäule.

### **4.2.3. Palpation**

Bei der Palpation wird auf Druck-, Klopf- und Bewegungsschmerz geachtet. Wichtig ist außerdem die Beurteilung des Muskeltonus im Bereich der Schulter-/ Halsmuskulatur, da Probanden mit einem Muskelhartspann nicht mit in das Probandenkollektiv aufgenommen werden dürfen.

### **4.2.4. Bewegungsprüfung**

Zur Bewegungsprüfung gehört die Messung des Kinn/ Jugulum Abstandes in cm

und das Bewegungsausmaß der Halswirbelsäule nach der Neutral- Null- Methode.

Folgende Parameter wurden hierbei ermittelt:

HWS- Rotation nach links und rechts

HWS- Seitneigung nach links und rechts

Extension und Flexion

#### **4.2.5. Festlegung des Bewegungsmusters**

Der Proband wird von dem Untersucher über den genauen Bewegungsablauf informiert.

Zunächst sollte der Proband eine Rotation des Kopfes durchführen, die Rotation sollte in langsamen Bewegungen nach links und rechts erfolgen.

Im zweiten Teil des Versuches führte der Proband eine langsame Seitneigung des Kopfes durch.

Der dritte Teil des Versuches besteht in der langsamen Extension/ Flexion des Kopfes.

#### **4.2.6. Radiologische Untersuchung**

Bei der Röntgenuntersuchung wird der Autor mit denen auf der Haut platzierten Markern in folgenden Positionen untersucht.

- a.p.

- seitlich

- Funktionsaufnahmen in Reklination/ Inklinaton und Seitneigung nach links/ rechts.

### **4.3. Probandenvorbereitung**

#### **4.3.1 Aufwärmphase des Probanden**

Der Proband wird dazu aufgefordert Aufwärmübungen für die Halswirbelsäule zu machen. Diese bestehen aus Dehnungsübungen (Extension, Flexion, Seitneigung nach links/rechts und die Rotation des Kopfes nach links/ rechts) und die Bewegungsübungen (gleichmäßige Bewegung der Halswirbelsäule, wie in den oben beschrieben Ebenen).

Somit gelten für alle Probanden ähnliche Voraussetzungen für den sich anschließenden Meßvorgang.

### **4.3.2. Probandenvorbereitung**

Bei allen Probanden wird zunächst einmal die Wirbelsäule palpiert. Dabei wird sehr genau darauf geachtet, daß die Dornfortsätze des sechsten und des siebenten Halswirbels gut zu palpieren sind.

Im nächsten Schritt werden die oben beschriebenen Ultraschallmarker genau auf der Haut über den Dornfortsätzen fixiert. Dieses geschieht mit Hilfe von zweiseitigen Klebepunkten.

Begonnen wird mit dem siebten Halswirbel und bis in Höhe des zweiten Halswirbels fortgesetzt. (Es werden also 6 Halswirbel markiert).

Nun werden die zwei Referenzmarker auf dem Articulatio acromioclaviculare plaziert.

Die beiden letzten Marker werden mit Hilfe eines Klettverschlusses in Höhe des Mastoides ausgerichtet und fixiert.

Im nächsten Arbeitsschritt wird der Proband auf einen Stuhl gesetzt und so zum Meßaufnehmer plaziert das er aufrecht und genau in einem Abstand von 150 cm mit dem Rücken zur Meßapparatur sitzt.

Der Proband wird nicht fixiert, das heißt, er sitzt frei wie oben beschrieben vor dem Meßgerät.

Die einzelnen Ultraschallmarker werden mit Kabeladapter verbunden und zwar auf die vom Hersteller vorgeschriebene Art und Weise.

Der Kabeladapter ist mit dem Meßaufnehmer über ein Kabel verbunden. Der Meßaufnehmer ist mit der CMS- Schnittstelle des PC wiederum mit einem Kabel verbunden.



Eine Videokamera wird für die ersten beiden Versuchsanordnungen (Rotation und Seitneigung) hinter dem Meßmikrofon im Abstand von 3 m zum Probanden aufgestellt. Für die Extension/ Flexion wird die Kamera links neben dem Probanden im Abstand von ebenfalls 3 m aufgestellt.

## **4.4. Meßgeräteeinstellung**

Nachdem der Proband vor dem Meßgerät plaziert wurde, wird zunächst die Videokamera in Betrieb genommen. Sie zeichnet den kompletten Meßzyklus auf und dient später zur Kontrolle der aufgezeichneten Bewegungsabläufe.

Im nächsten Arbeitsschritt wird über den PC das zuvor ausgewählte Meßprogramm gestartet.

Im Menü des Meßprogrammes müssen zunächst die Marker selektiert werden. Für diese Versuchsreihe wurden 10 Marker selektiert, diese wurden den Probanden wie oben beschrieben aufgeklebt. Die Software des Herstellers gestattete uns die oben beschriebene Markeranordnung.

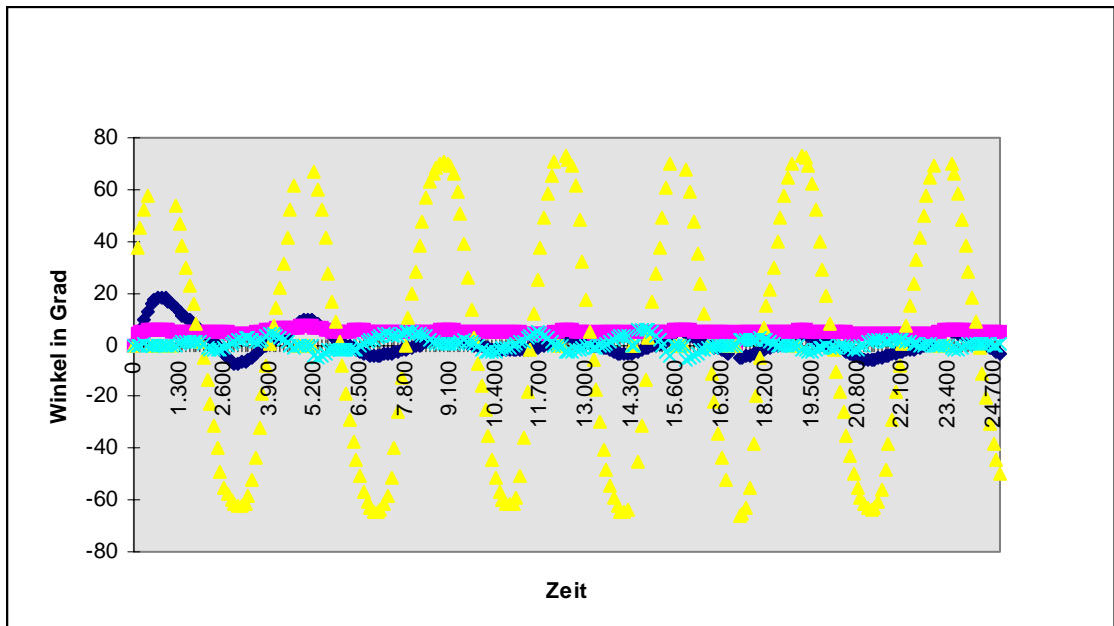
Ebenso ist im Menü eine Meßrate vor zu wählen, diese richtet sich nach der Anzahl der Selektierten Marker und ist auf maximal 160 Hz begrenzt.

Des Weiteren wurde vorab der Neigungswinkel des Meßaufnehmers berücksichtigt. Die Umrechnung der Meßkoordinaten auf die horizontale Bezugsebene erfolgte somit automatisch. Bei der gewählten senkrechten Ausrichtung des Meßaufnehmers waren 90 Grad ein zustellen.

### **4.4.1. Meßdatenübertragung**

Die Übertragung der Meßdaten erfolgt in Echtzeit und ist synchron zur Bewegung des Probanden auf dem Bildschirm zu sehen.

Die Meßdaten werden von der PC- Einsteckkarte verarbeitet und stellen sich in folgender Form dar.



#### 4.4.2. Meßdatenspeicherung

Die Speicherung der Meßdaten erfolgt im ASCII- Format. Die Daten wurden sodann auf einer handelsüblichen Diskette übertragen. Die weitere Verarbeitung erfolgt mit einem Microsoft EXEL Programm. und Auswerteprogramm der Firma Zebris®.



## **4.5. Meßvorgang**

Bei eingeschalteter Videokamera erhält der Proband die verbale Aufforderung für 5 Sekunden in einer geraden aufrechten Sitzposition zu verharren. (Nullwert-Bestimmung).

Der Meßvorgang beginnt zunächst mit der Rotation des Kopfes, in welche Richtung der Proband sich zuerst dreht ist für die spätere Auswertung ohne Bedeutung. Anschließend folgen noch die HWS- Seitneigung und die Reklination/ Inklinatation.

Im Versuch werden pro Bewegungsmuster drei Meßvorgänge für jeweils zwei Minuten ohne Unterbrechung durchgeführt. Die drei Meßvorgänge unterscheiden sich nur in der vorgewählten Abtastrate.

Die Abtastrate beträgt im ersten Meßvorgang 5 Hertz, im zweiten Meßvorgang 10 Hertz und im dritten Meßvorgang 15 Hertz.

Die Gesamtmeßdauer beträgt somit 18 Minuten pro Proband.

## **4.6. Statistik**

In der vorliegenden Studie sind Datenanalysen mit den unten aufgeführten und kurz dargestellten statistischen Methoden durchgeführt worden. Für weiterführende Informationen wird auf die detaillierten Fachbücher von *Bronstein (1989)*, *Mosteller (1977)* und *Sachs (1992)* verwiesen.

Um den Versuch auf seine Stichprobenfehler hin zu untersuchen wurden Parallelstichproben durchgeführt.

Als optimaler Test für den Vergleich zweier oder mehrerer abhängiger Stichproben und den Vergleich gepaarter Beobachtung ist der nicht parameter Wilcoxon Test anzusehen.

Dieser nicht parametrische Test dient zur Ermittlung der Wiederholbarkeit der Untersuchung durch zwei unterschiedliche Untersucher unter den angegebenen Bedingungen ohne ein zeitliches Profil.

Bei der Anwendung dieses Testverfahren ist es möglich normalverteilte Differenzen mit wenig Rechenarbeit scharf zu testen. Die Wirksamkeit und Effizienz liegt für große und kleine Stichprobenumfänge bei 95%.

Der Test gestattet Prüfungen, ob die Differenzen zweier verbundener Stichproben symmetrisch mit dem Median gleich Null verteilt sind, das heißt unter der Nullhypothese entstammen, die Paardifferenzen einer Grundgesamtheit mit der Verteilungsfunktion  $F(d)$  beziehungsweise mit der Dichte  $f(d)$ .

Für den verteilungsunabhängigen Vergleich mehrerer abhängiger Stichproben von Messwerten hinsichtlich ihrer zentralen Tendenz steht die von Friedmann entwickelte Rangvarianzanalyse, eine zweifache Varianzanalyse mit Rangzahlen zur Verfügung.

Dieser nicht parametrische Test dient zur intraindividuellen Retestung unter den angegebenen Bedingungen in einem bestimmten zeitlichen Profil.

Untersucht werden dabei  $n$  Wiederholungen unter  $k$  Bedingungen. Die Gesamtstichprobe wird anhand eines mit dem untersuchten Merkmal möglichst hoch korrelierten Kontrollmerkmals in Gruppen zu je  $k$  Individuen aufgeteilt, beobachtet werden muß, daß die Individuen eines Blockes bezüglich des Kontrollmerkmals gut übereinstimmen. Die  $k$  Wiederholungen eines jeden Blockes werden dann nach Zufall auf die  $k$  Bedingungen verteilt.

Grundlage dafür ist die Hypothese, daß die verschiedenen Wiederholungen keinen Einfluß auf die Verteilung der betroffenen Meßwerte nehmen, so werden sich die Rangplätze der  $n$  Individuen nach Zufall auf die  $k$  Wiederholungen verteilen.

Unter der Annahme einer Nullhypothese der Rangsumme für jede der  $k$  Wiederholungen sollten diese nur zufällig voneinander abweichen. Üben einzelne Wiederholungen jedoch einen systematischen Einfluß aus, so werden die  $k$  Spalten unterschiedliche Rangsummen aufweisen

Innerhalb dieser Untersuchung werden beide Testreihen angewendet und statistisch ausgewertet.

Mit beginn dieser Arbeit 1994 bestand in Hannover für Arbeiten und Studien keine Vorlagepflicht in der Ehtikkommision, sofern diese sich nicht mit Tierversuchen oder invasiven und medikamentösen Versuchen am Menschen beschäftigten.

## **5. Ergebnisse gesamtes Probandenkollektiv**

### **5.1. Ergebnisse allgemein**

Im Ergebnisteil wurden die Probanden zunächst nach dem Geschlecht eingeteilt.

Diese Einteilung wurde sowohl für die Neutral- Null- Methode, als auch für den eigentlichen Versuch gewählt.

Zur Überprüfung der Meßgenauigkeit und zur Reproduzierbarkeit unserer Ergebnisse wurden fünf Probanden unter den gleichen Testbedingungen nach Wilcoxon und Friedman im Abstand von drei und sieben Tagen durch zwei Untersucher unter den gleichen Meßbedingungen untersucht.

Innerhalb der drei Meßvorgänge (HWS- Rotation, HWS- Seitneigung und Extension/ Flexion) wurde jeweils die Messung der HWS- Rotation, der HWS- Seitneigung, die Schulterrotation und der Schulterseitneigung im Verhältnis zu der Referenzachse gemessen und ausgewertet.

Da die Marker der Probanden auf der Haut plaziert wurden, wurde ein Proband (der Autor der Arbeit) mit den platzierten Marken radiologisch untersucht. Dabei wurde das unter Punkt 4.5 beschriebene Verfahren angewandt. Die Röntgenaufnahmen wurden in folgenden Positionen durchgeführt.

- a. p.
- seitlich
- Funktionsaufnahmen in Reklination/ Inklinaton und in Seitneigung nach links/rechts.

### **5.1.1 Ergebnisse der Röntgenaufnahmen**

Die Röntgenaufnahmen zeigen eine Hautverschieblichkeit, die sich im Rahmen von ca. 1 Prozent befindet.

Dabei verschieben sich die Marker mit der Haut synchron zur Veränderung der Dornfortsätze.

Bei der Extension der Probanden jedoch kommt es bei Extensionsbewegungen über 65 Grad zu Verschiebungen der Marker die erheblich über 10 Prozent liegen.

Diese hat für die Messung zur Folge, daß die Meßergebnisse in ihrer Genauigkeit bei Extensionswerten über 65 Grad über den zu tolerierenden Werten liegen.

## **5.1.2. Vergleich der Mehrfachmessungen**

Im Rahmen der oben beschriebenen Mehrfachmessungen wurden 5 Probanden nach drei und sieben Tagen nochmals unter den gleichen Laborbedingungen wie oben beschrieben von zwei unabhängigen Untersuchern gemessen. Statistische Grundlage dieser Mehrfachmessungen sind die o.g Testmethoden nach Wilcoxon und Friedmann als nicht parametrische Testungen. Die Probanden wurden dabei zufällig ausgewählt, es gab keine Präferenzen bezüglich Alter oder Geschlecht. Drei von 14 weibliche Probanden (21,4%) und zwei von 15 männliche Probanden (13,3%) wurden somit ausgewertet. Die vorliegenden Meßergebnisse der dynamischen Messung zeigen sowohl bei den weiblichen als auch bei den männlichen Probanden sehr hohe Übereinstimmungen( siehe Tabelle VIII). Die an drei verschiedenen Tagen gemessenen Werte sind bis auf Abweichungen von Durchschnittlich 1 Grad (Untersucherunabhängig) identisch.

Bei den Korrelationskoeffizienten innerhalb der intraindividuellen Retestung unter den angegebenen Bedingungen in einem bestimmten zeitlichen Profil nach Friedmann zeigt sich für die Rotation der HWS ( $r$ ) 0.95, für die Seitneigung gilt ( $r$ ) 0.92 und für die Extension/ Flexion ( $r$ ) 0.89 (Alphaquantil 0,05).

Gleiches gilt für die Signifikanz innerhalb des Friedmann Tests. Auch hier zeigen sich kein signifikanten Unterschiede in den Meßwerten. Für die Rotation der HWS ( $P$ ) 0.198, für die Seitneigung gilt ( $P$ ) 0.213 und für die Extension/ Flexion ( $P$ ) 0.310.

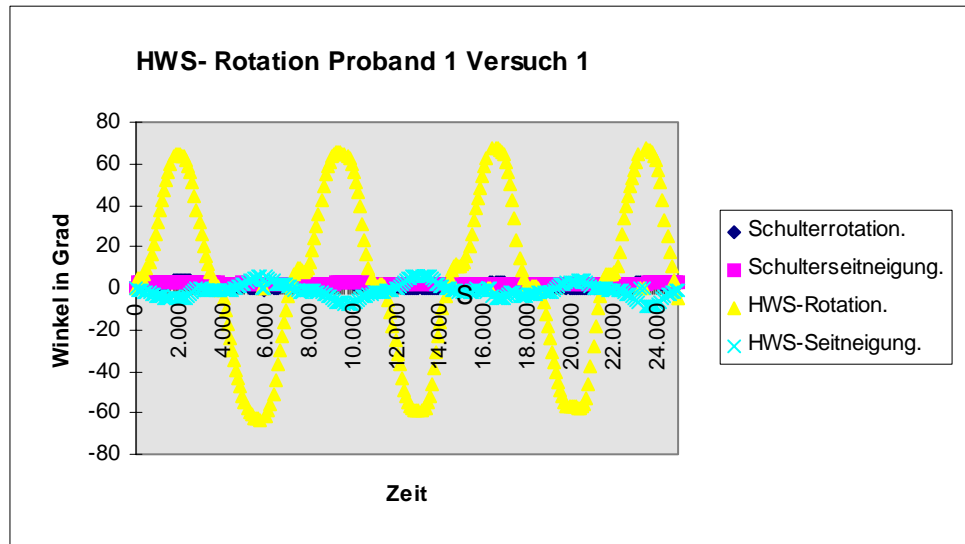
Der Wilcoxon Test als nicht parametrischer Test zur Ermittlung der Wiederholbarkeit der Untersuchung durch zwei unterschiedliche Untersucher unter den angegebenen Bedingungen ohne ein zeitliches Profil zeigte ebenso wie der oben genannte Friedmann Test hohe Korrelationskoeffizienten. Der höchste Koeffizient wurde für die HWS- Rotation ermittelt ( $r$ ) 0.91, es folgte die Seitneigung mit ( $r$ ) 0.88 und zum Schluß die Extension/ Flexion mit ( $r$ ) 0.81 (Alphaquantil 0,05).

Bei der Ermittlung der Signifikanz zeigte sich ein ähnliches Bild. Es besteht kein signifikanten Unterschiede in den Meßwerten für die Rotation der HWS ( $P$ ) 0.2215, es folgte die Seitneigung ( $P$ ) 0.2358 und für die Extension/ Flexion wurde ein Wert von ( $P$ ) 0.350 ermittelt.

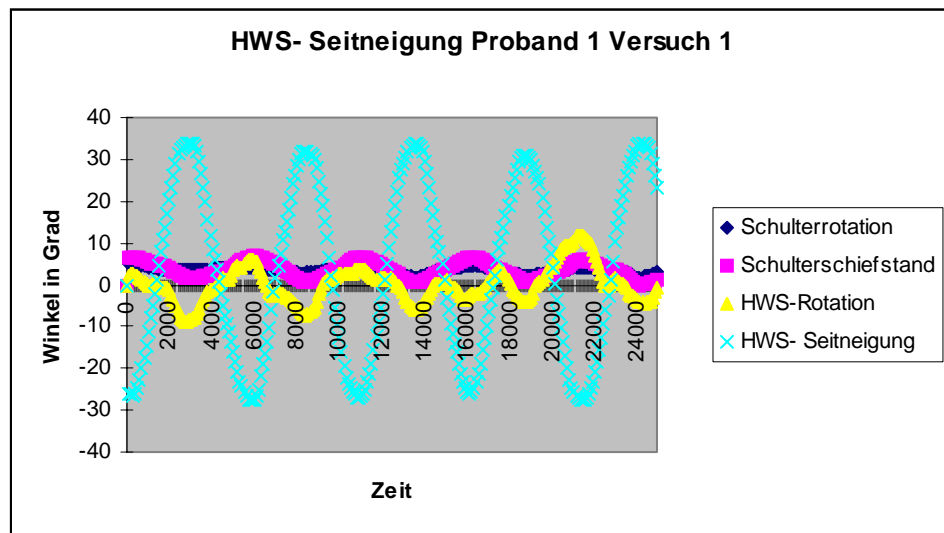
Für die Datenerhebung wurden alle aufgezeichneten Meßvorgänge berücksichtigt (bei 5, 10 und 15 Hertz).

Proband I Versuchsreihe Nummer 1

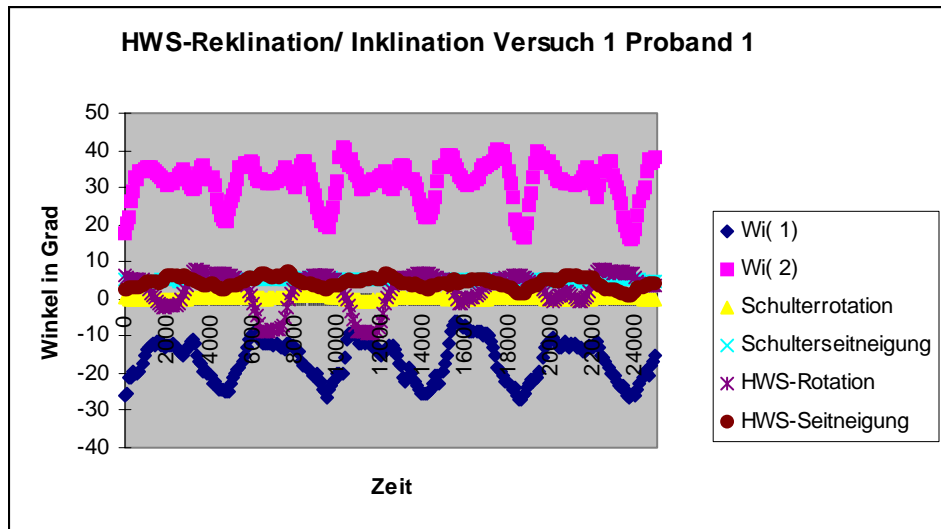
Rotation:



Seitneigung:

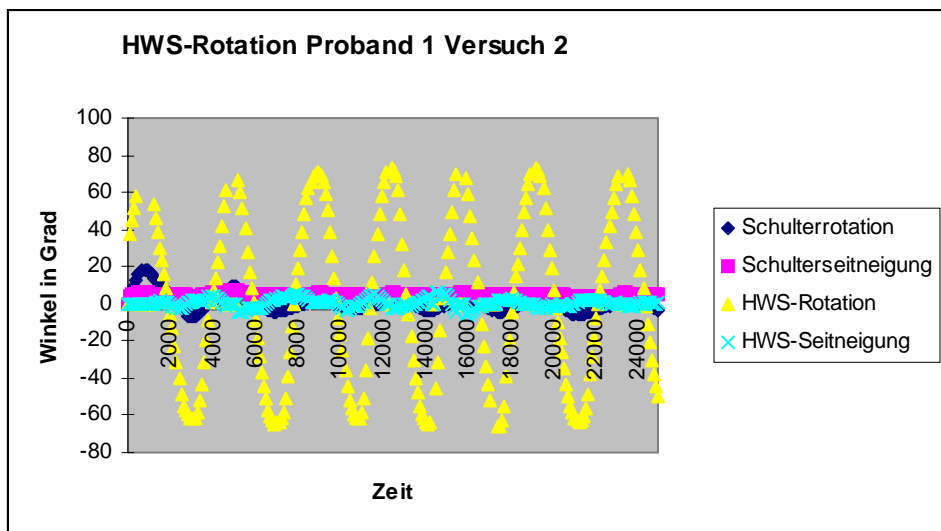


Reklination/ Inklination:



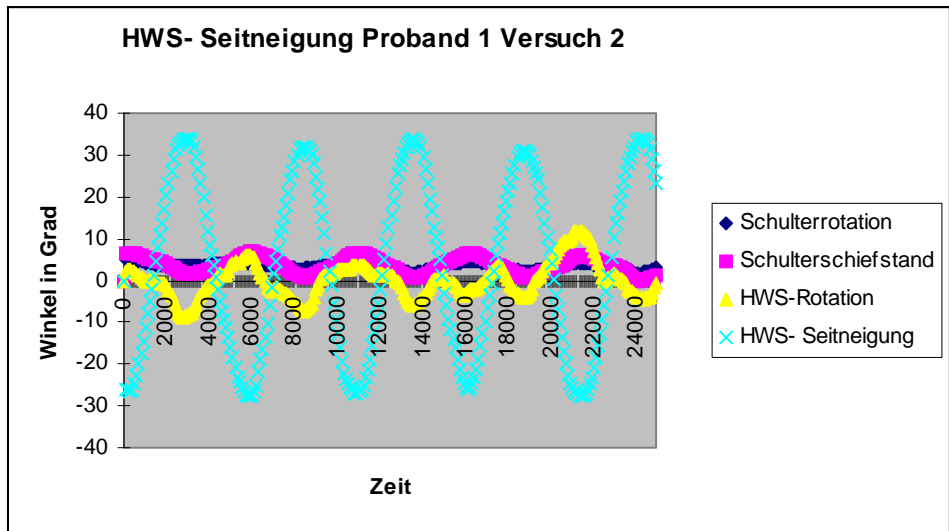
Proband I Versuchsreihe Nummer 2

Rotation:

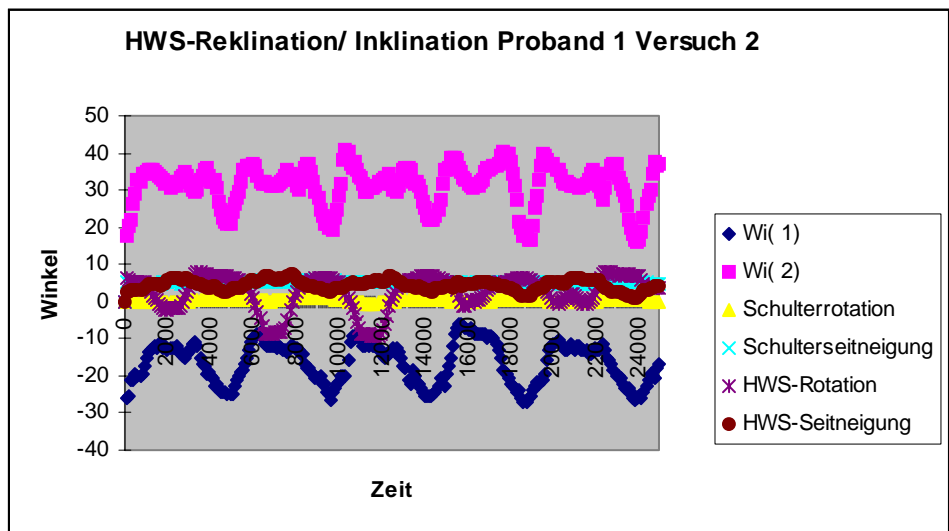


Seitneigung:



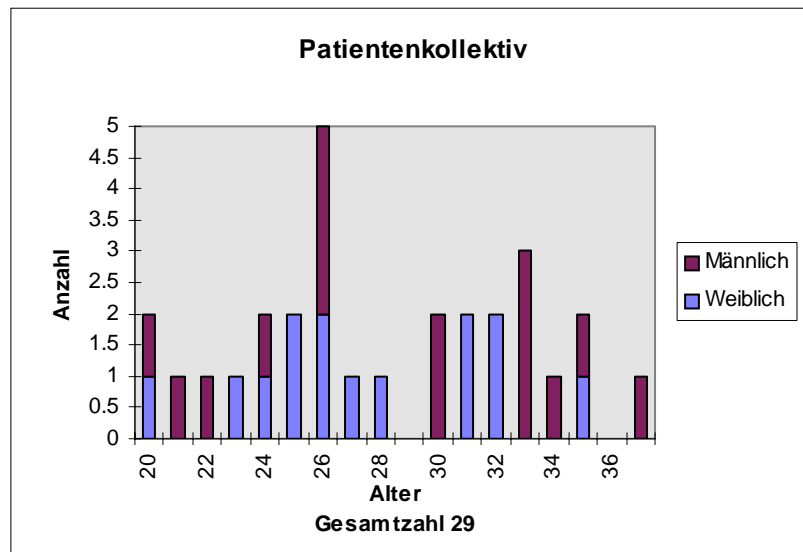


Reklination/ Inklination:



## 6. Meßergebnisse der Neutral- Null- Methode

Die Anzahl der ausgewerteten Probanden beträgt 29. Von denen sind 14 (48.3%) weiblich und 15 (51.7%) männlich.



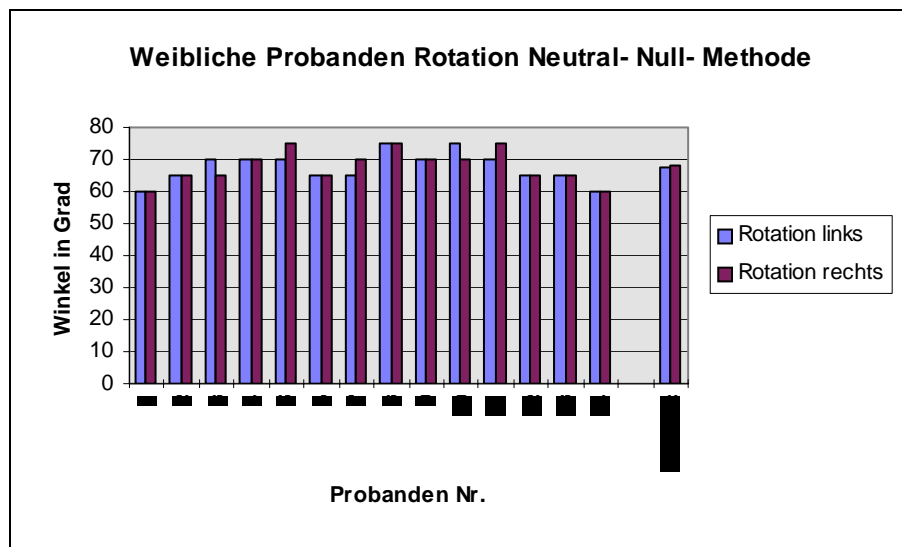
## 6.1. Weibliche Probanden

Die Anzahl der Probanden beträgt 14 (48.3%)

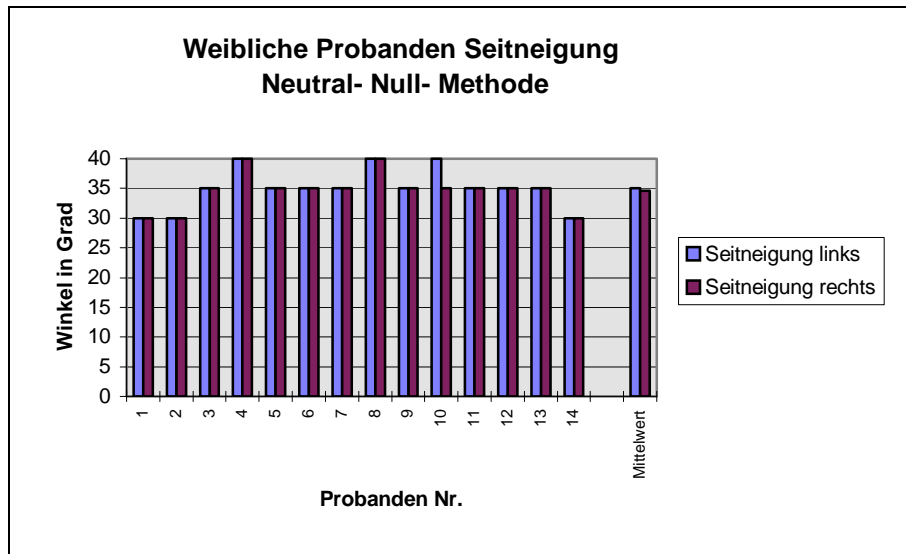
Ausgewertet wurden ebenfalls 14 Probanden.

Die HWS- Rotation erstreckte sich zwischen minimal 60 Grad und maximal 75 Grad zur linken Seite und zwischen minimal 60 Grad und maximal 75 Grad zur rechten Seite.

Der Mittelwert für die Rotation zur linken Seite beträgt 67,5 Grad und zur rechten Seite 67,9 Grad.

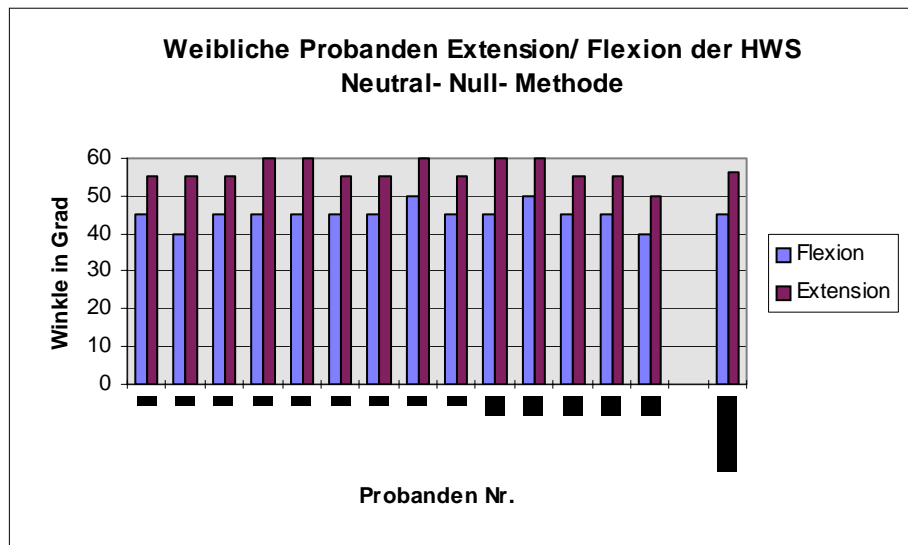


Die Kopfseitneigung erstreckt sich zwischen minimal 30 und maximal 40 Grad zur linken Seite und zwischen minimal 30 und maximal 40 Grad zur rechten Seite. Der Mittelwert für die Seitneigung zur linken Seite beträgt 35 Grad und zur rechten Seite 34,6 Grad.



Die Extension/ Flexion der HWS erstreckt sich zwischen minimal 50 Grad und maximal 60 Grad in der Extension und zwischen minimal 40 Grad und maximal 50 Grad in der Flexion der HWS.

Der Mittelwert für die Extension beträgt 56,4 Grad und für die Flexion beträgt er 45 Grad.



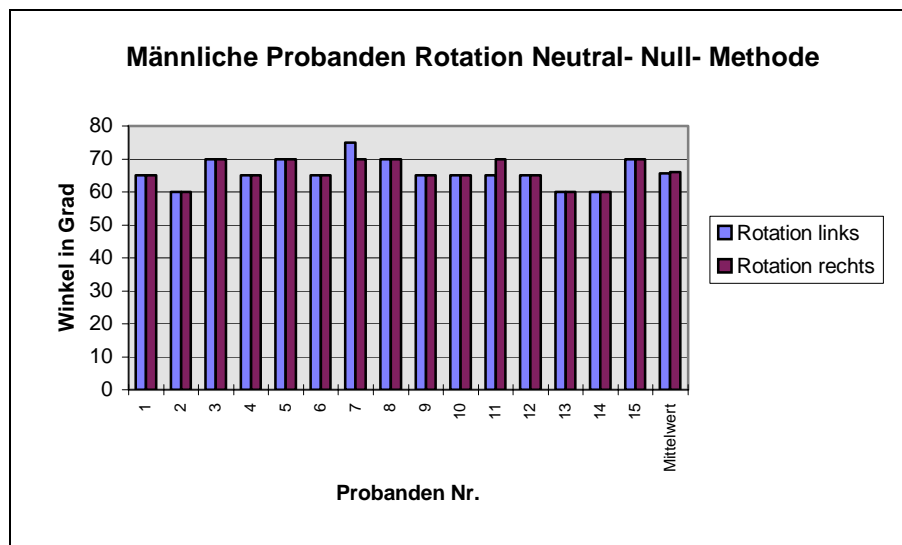
## 6.2. Männliche Probanden

Die Anzahl der Probanden beträgt 15 (51.7%).

Ausgewertet wurden ebenfalls 15 Probanden.

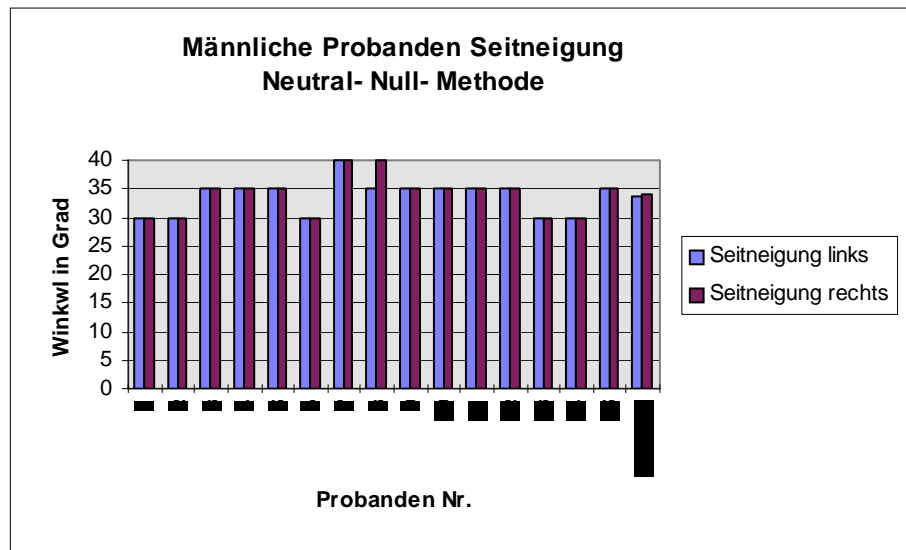
Die HWS- Rotation erstreckte sich zwischen minimal 60 Grad und maximal 75 Grad zur linken Seite und zwischen minimal 60 Grad und maximal 70 Grad zur rechten Seite.

Der Mittelwert für die Rotation zur linken Seite beträgt 65,6 Grad und zur rechten Seite 66 Grad.

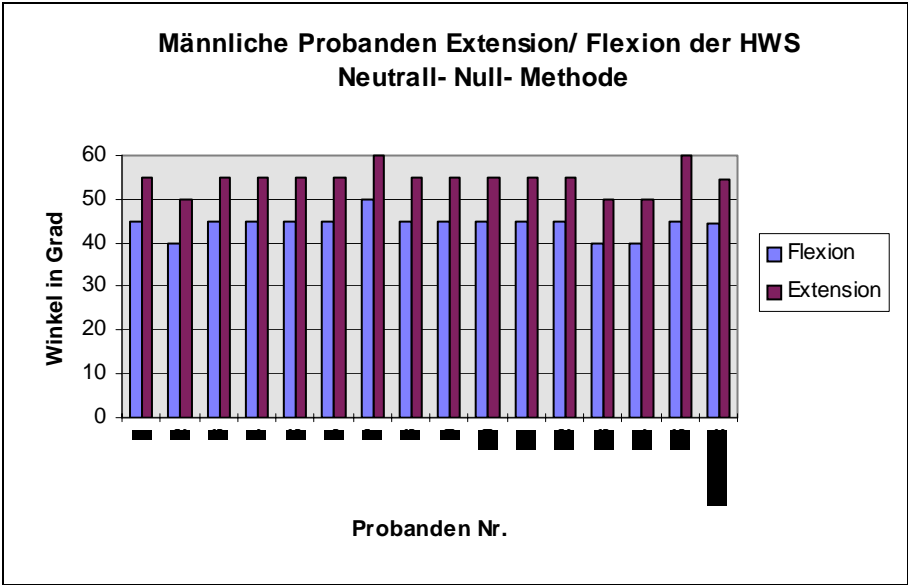


Die HWS- Seitneigung erstreckte sich zwischen minimal 30 Grad und maximal 40 Grad zur linken Seite und zwischen minimal 30 und maximal 40 Grad zur rechten Seite.

Der Mittelwert für die Seitneigung zur linken Seite beträgt 33,7 Grad und zur rechten Seite 34 Grad.



Die Extension/ Flexion erstreckte sich zwischen minimal 40 Grad und maximal 50 Grad in der Flexion und zwischen minimal 50 und maximal 60 Grad in der Extension. Der Mittelwert für die Flexion beträgt 44,3 Grad und für die Extension beträgt 54,6 Grad.



**7. Meßergebnisse der Messungen mit der Zebris® System**



In den Meßzyklen wurden zunächst alle 29 Probanden wie oben beschrieben nach Alter und Geschlecht eingeteilt. Fünf willkürlich ausgewählte Probanden wurden zur Reproduzierbarkeit der Ergebnisse im Abstand von drei Monaten nochmals unter den gleichen Bedingungen gemessen. (siehe Punkt **5.1.2.**).

Neben der HWS- Rotation, HWS- Seitneigung und der Reklination/ Inklinatation wurde in jedem Meßzyklus außerdem die HWS- Rotation, die HWS- Seitneigung, die Schulterrotation und der Schulterseitneigung mitbestimmt.

## **7.1. HWS- Rotation weiblich**

Die vorliegenden Meßergebnisse zeigen bei den weiblichen Probandinnen eine HWS- Rotation nach links zwischen 75,7 Grad im Maximum und 57,9 Grad im Minimum. Der Mittelwert beträgt 64,8 Grad. Die HWS- Rotation nach rechts beträgt zwischen 75,7 Grad im Maximum und 59,4 Grad im Minimum. Der Mittelwert beträgt 65,3 Grad. Die Werte für den Friedmann- und Wilcoxon- Test zeigt einen hohen Korrelationskoeffizienten und signifikante Meßwerte (siehe Tabellenanhang VIII). Ein signifikanter Unterschied bezüglich der Reduzierung der Beweglichkeit in der Rotation mit zunehmendem Alter konnte nicht festgestellt werden. Auffällig bei allen Probandinnen ist eine bevorzugte „Rotationsrichtung“, es zeigte sich das die Probandinnen entweder höhere Rotationswerte nach links oder nach rechts haben. Die Winkelgeschwindigkeit der Probandinnen hat keine Auswirkung auf die maximale/ minimale Rotation.

### **HWS- Seitneigung innerhalb der Rotation**

Innerhalb der HWS- Rotation zeigt sich bei allen weiblichen Probandinnen zudem eine HWS- Seitneigung. Rotieren die Probanden nach rechts, so ist der Kopf zunächst in der gemessenen Neutralposition, je größer dann der Rotationswinkel, je stärker wird

dann auch die HWS- Seitneigung. Gleiches gilt für die Rotation nach links. Sobald die Probanden die Neutralposition verläßt ist eine HWS- Seitneigung zu messen. Das Maximum der HWS- Seitneigung wird mit der Maximalen Rotation erreicht und zwar sowohl nach rechts als auch nach links. Die durchschnittliche Seitneigung beträgt im Median 2,9 Grad. (Werte für den Friedmann- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

### **Schulterrotation innerhalb der Rotation**

Bei 12 Probanden (85 Prozent) ist die Rotation der Schulter über die erhobenen Meßwerte nachweisbar, jedoch nur in einem Bereich von 0,5 bis zu 1,6 Grad. Bezogen auf die Gesamtrotation handelt es sich um vernachlässigbare Werte. 2 Probandinnen (15 Prozent) weisen Schulterrotation innerhalb der HWS- Rotation von bis zu 10 Grad im Maximum der HWS- Rotation auf, auch ein Abbruch des Versuches und ein Neustart führten zu keiner Reduzierung der Schulterrotation. Eine der Probandinnen mit Schulterrotationswerten von 10 Grad gehörte zu den zufällig ausgewählten Kandidatinnen die nach 3 Monaten nochmals gemessen wurde. Auch bei diesem Versuch zeigten sich Werte von 10 Grad.

(Werte für den Friedmann- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

### **Schulterseitneigung innerhalb der Rotation**

Zusätzlich wurden bei den weiblichen Probanden innerhalb der HWS- Rotation eine Schulterseitneigung gemessen. Beginnt die Probandin mit der Rotation des Kopfes, so ist dieser zunächst in der gemessenen Neutralposition, je größer dann der Rotationswinkel, je stärker wird dann auch die Schulterseitneigung. Gleiches gilt für

die Rotation nach links. Sobald die Probandin die Neutralposition verläßt ist eine Schulterseitneigung zu messen. Das Maximum der Seitneigung wird mit der maximalen Rotation erreicht und zwar sowohl nach rechts als auch nach links. Die durchschnittliche Schulterseitneigung beträgt im Median 1,5 Grad. (Werte für den Friedmann- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

## **7.2. HWS- Rotation männlich**

Die vorliegenden Meßergebnisse zeigen bei den männlichen Probanden eine HWS-Rotation nach links zwischen 64,0 Grad im Maximum und 55,1 Grad im Minimum. Der Mittelwert beträgt 59,5 Grad. Die HWS- Rotation nach rechts beträgt zwischen 64,3 Grad im Maximum und 54,2 Grad im Minimum. Der Mittelwert beträgt 60,5 Grad. Ein signifikanter Unterschied bezüglich der Reduzierung der Beweglichkeit in der Rotation mit zunehmendem Alter konnte wie bei den weiblichen Probanden nicht festgestellt werden. Ebenfalls wie bei den weiblichen Probanden besteht bei den männlichen Probanden eine bevorzugte „Rotationsrichtung“, es zeigte sich, daß die Probanden genau wie bei den weiblichen Probanden entweder höhere Rotationswerte nach links oder nach rechts haben. Die Winkelgeschwindigkeit der Probanden hat auch keine Auswirkung auf die maximale/ minimale Rotation. (Werte für den Friedmann- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

### **HWS- Seitneigung innerhalb der Rotation**

Innerhalb der HWS- Rotation zeigt sich bei allen männlichen Probanden, wie bei den weiblichen Probanden auch, eine HWS- Seitneigung. Rotiert der Proband nach rechts, so ist der Kopf zunächst in der gemessenen Neutralposition, je größer dann der Rotationswinkel wird, je stärker wird dann auch die HWS- Seitneigung. Gleiches gilt für die Rotation nach links. Sobald der Proband die Neutralposition verläßt, ist eine

HWS- Seitneigung zu messen. Das Maximum der HWS- Seitneigung wird mit der maximalen Rotation erreicht und zwar sowohl nach rechts als auch nach links. Die durchschnittliche Seitneigung beträgt im Median 3,8 Grad. (Werte für den Friedman- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

### **Schulterrotation innerhalb der Rotation**

Bei 12 Probanden (80 Prozent) ist die Rotation der Schulter über die erhobenen Meßwerte nachweisbar, jedoch nur in einem Bereich von 0,2 bis zu 1,1 Grad. Bezogen auf die Gesamtrotation handelt es sich ebenso wie bei den weiblichen Probanden um zu vernachlässigende Werte von unter 1 Prozent. 3 Probanden (20 Prozent) weisen Schulterrotation innerhalb der HWS- Rotation von bis zu 12 Grad im Maximum der HWS- Rotation auf, auch ein Abbruch des Versuches und ein Neustart führten zu keiner Reduzierung der Schulterrotation. Auch hier gehörte einer der Probanden mit Schulterrotationswerten von bis zu 11 Grad zu den Kandidaten die nach 3 Monaten nochmals gemessen wurde. Auch bei diesem Versuch zeigten sich wieder Werte von 10,8 Grad im Mittel. (Werte für den Friedman- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

### **Schulterseitneigung innerhalb der Rotation**

Bei allen männlichen Probanden wurde innerhalb der HWS- Rotation eine Schulterseitneigung gemessen. Beginnt der Proband mit der Rotation des Kopfes, so ist dieser zunächst in der gemessenen Neutralposition, je größer dann der Rotationswinkel, je stärker wird dann auch die Schulterseitneigung. Gleiches gilt für die Rotation nach links. Sobald der Proband die Neutralposition verläßt, ist eine Schulterseitneigung zu messen. Das Maximum der Seitneigung wird mit der

maximalen Rotation erreicht und zwar sowohl nach rechts als auch nach links. Die durchschnittliche Schulterseitneigung beträgt im Median 1,9 Grad. (Werte für den Friedman- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

### **7.3. HWS- Seitneigung weiblich**

Die vorliegenden Meßergebnisse zeigen bei den weiblichen Probandinnen eine HWS-Seitneigung nach links zwischen 38,5 Grad im Maximum und 28,7 Grad im Minimum. Der Mittelwert beträgt 32,8 Grad. Die HWS- Rotation nach rechts beträgt zwischen 40,9 Grad im Maximum und 28,3 Grad im Minimum. Der Mittelwert beträgt 33,3 Grad. Ein signifikanter Unterschied bezüglich der Reduzierung der Beweglichkeit in der Seitneigung mit zunehmendem Alter konnte auch hier nicht festgestellt werden. genau wie bei der HWS- Rotation besteht bei allen Probanden eine bevorzugte „Seitneigungsrichtung“, es zeigte sich, daß die Probanden entweder höhere Seitneigungswerte nach links oder nach rechts haben. Die Winkelgeschwindigkeit der Probandinnen hat auch hier keine Auswirkung auf die maximale/ minimale HWS-Seitneigung. (Werte für den Friedman- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

### **HWS- Rotation innerhalb der HWS- Seitneigung**

Innerhalb der HWS- Seitneigung zeigt sich bei allen weiblichen Probanden eine HWS-Rotation, die gemessenen Werte sind im Verhältnis zur HWS- Seitneigung mit bis zu 5,5 Grad recht hoch. Neigt die Probandin nach rechts, so ist der Kopf zunächst in der gemessenen Neutralposition, je größer dann der Neigungswinkel wird, je stärker wird dann auch die HWS- Rotation. Gleiches gilt für die HWS- Rotation nach links. Sobald

die Probandin die Neutralposition verläßt, ist eine HWS- Rotation zu messen. Das Maximum der HWS- Rotation wird mit der Maximalen Seitneigung erreicht und zwar sowohl nach rechts als auch nach links. Die durchschnittliche HWS- Rotation innerhalb der HWS- Seitneigung beträgt 3,96 Grad. (Werte für den Friedman- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

### **Schulterrotation innerhalb der HWS- Seitneigung**

Bei allen Probanden ist die Rotation der Schulter über die erhobenen Meßwerte nachweisbar, jedoch nur in einem Bereich von 0,5 bis zu 1,6 Grad. Bezogen auf die Gesamtseitneigung des Kopfes handelt es sich um Werte von 0,76 bis 1,8 Prozent. Es besteht kein direkter Zusammenhang zwischen der HWS- Seitneigung und der Schulterrotation während des Versuchsablaufes. Die Durchschnittliche Schulterrotation beträgt 1,2 Grad. (Werte für den Friedman- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

### **Schulterseitneigung innerhalb der HWS- Seitneigung**

Bei allen Probandinnen ist die Seitneigung der Schulter über die erhobenen Meßwerte nachweisbar, jedoch nur in einem Bereich von 0,1 bis zu 2,1 Grad. Bezogen auf die Gesamtseitneigung des Kopfes handelt es sich um Werte von 0,15 bis 1,8 Prozent. Es besteht kein direkter Zusammenhang zwischen der HWS- Seitneigung und der Schulterrotation während des Versuchsablaufes. Die durchschnittliche

Schulterrotation beträgt 1,2 Grad. (Werte für den Friedman- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

#### **7.4. HWS- Seitneigung männlich**

Die vorliegenden Meßergebnisse bei den männlichen Probanden zeigen eine HWS- Seitneigung nach links zwischen 34,0 Grad im Maximum und 26,7 Grad im Minimum. Der Mittelwert beträgt 29,3 Grad. Die HWS- Rotation nach rechts beträgt zwischen 32,9 Grad im Maximum und 26,3 Grad im Minimum. Der Mittelwert beträgt 30,0 Grad. Ein signifikanter Unterschied bezüglich der Reduzierung der Beweglichkeit in der Seitneigung mit zunehmendem Alter konnte auch hier nicht festgestellt werden. Genau wie bei der HWS- Rotation besteht bei allen Probanden eine bevorzugte „Seitneigungsrichtung“, es zeigte sich das die Probanden entweder höhere Seitneigungswerte nach links oder nach rechts haben. Die Winkelgeschwindigkeit der Probanden hat auch hier keine Auswirkung auf die maximale/ minimale HWS- Seitneigung. (Werte für den Friedman- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

#### **HWS- Rotation innerhalb der Seitneigung**

Innerhalb der HWS- Seitneigung zeigt sich wie bei den weiblichen Probanden eine HWS- Rotation mit Meßwerten, die im Verhältnis zur HWS- Seitneigung mit bis zu 4,5 Grad recht hoch sind. Neigt der Proband nach rechts, so ist der Kopf zunächst in der gemessenen Neutralposition, je größer dann der Neigungswinkel wird, je stärker wird dann auch die HWS- Rotation. Gleiches gilt für die HWS- Rotation nach links. Sobald der Proband die Neutralposition verläßt, ist eine HWS- Rotation zu messen. Das Maximum der HWS- Rotation wird mit der maximalen Seitneigung erreicht und

zwar sowohl nach rechts als auch nach links. Die durchschnittliche HWS- Rotation innerhalb der HWS- Seitneigung beträgt 2,95 Grad. (Werte für den Friedmann- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

### **Schulterrotation innerhalb der Seitneigung**

Bei allen Probanden ist die Rotation der Schulter wie bei den weiblichen Probanden über die erhobenen Meßwerte nachweisbar, jedoch nur in einem Bereich von 0,4 bis zu 2,9 Grad. Bezogen auf die Gesamtseitneigung des Kopfes handelt es sich um Werte von 0,6 bis 4,4 Prozent. Es besteht kein direkter Zusammenhang zwischen der HWS- Seitneigung und der Schulterrotation während des Versuchsablaufes. Die Durchschnittliche Schulterrotation beträgt 0,95 Grad.

### **Schulterseitneigung innerhalb der HWS- Seitneigung**

Bei allen Probanden ist die Seitneigung der Schulter, wie bei den weiblichen Probanden, über die erhobenen Meßwerte nachweisbar, jedoch nur in einem Bereich von 0,1 bis zu 1,8 Grad. Bezogen auf die Gesamtseitneigung des Kopfes handelt es sich um Werte von 0,2 bis 3 Prozent. Es besteht kein direkter Zusammenhang zwischen der HWS- Seitneigung und der Schulterrotation während des



Versuchsablaufes. Die durchschnittliche Schulterrotation beträgt 1,1 Grad. (Werte für den Friedmann- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

## **7.5. HWS- Extension/ Flexion weiblich**

Die vorliegenden Meßergebnisse der dynamischen Untersuchung zeigen bei den weiblichen Probanden eine HWS- Extension zwischen 67,0 Grad im Maximum und 53,7 Grad im Minimum, der Mittelwert beträgt 60,0 Grad. Die HWS- Flexion zwischen 35,3 Grad im Maximum und 26,6 Grad im Minimum, der Mittelwert beträgt 31,0 Grad. Ein signifikanter Unterschied bezüglich der Reduzierung der Beweglichkeit in der Extension/ Flexion mit zunehmendem Alter konnte auch hier nicht festgestellt werden. Anders als bei der HWS- Rotation/ HWS- Seitneigung besteht keine bevorzugte „Extensions-/ Flexionsrichtung“. Die Winkelgeschwindigkeit der Probanden hat auch hier keine Auswirkung auf die maximale/ minimale HWS- Extension/ Flexion. Auch hier werden die von dem System erfaßten Einzelmeßwerte, welche von den einzeln markierten Dornfortsätzen der HWS gesendet werden, verrechnet. Es entsteht ein Gesamtwert für die HWS- Extension/ Flexion. Unterschiede in den einzelnen HWS- Abschnitten sind nicht zu differenzieren. Bei Flexionswerten über 65 Grad (am Model

in den Vorversuchen) ist die Hautverschieblichkeit so groß, daß die Marker übereinander rutschen und unrealistische Werte über 100 Grad gemessen werden. (Werte für den Friedmann- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

## **HWS- Rotation innerhalb der Extension/ Flexion**

Bei allen Probanden ist die Rotation der HWS über die erhobenen Meßwerte nachweisbar, in einem Bereich von 1,1 bis zu 3,4 Grad. Bezogen auf die HWS-Extension/ Flexion des Kopfes handelt es sich um Werte von 1,2 bis 3,7 Prozent. Die durchschnittliche HWS- Rotation beträgt 2,1 Grad.

Es besteht kein direkter Zusammenhang zwischen der HWS- Rotation und der Extension/ Flexion während des Versuchsablaufes. Auch hier werden die von dem System erfaßten Einzelmeßwerte, welche von den einzeln markierten Dornfortsätzen der HWS gesendet werden, verrechnet. Unterschiede in den einzelnen HWS- Abschnitten sind nicht zu differenzieren. (Werte für den Friedmann- und Wilcoxon-Test siehe Tabellenanhang VIII).

### **HWS- Seitneigung innerhalb der Extension/ Flexion**

Bei allen Probanden ist die Seitneigung der HWS über die erhobenen Meßwerte nachweisbar, in einem Bereich von 0,9 bis zu 5,6 Grad. Bezogen auf die HWS-Extension/ Flexion des Kopfes handelt es sich um Werte von 1 bis 6,1 Prozent. Die Durchschnittliche HWS- Seitneigung beträgt 2,6 Grad. Es besteht kein direkter Zusammenhang zwischen der HWS- Seitneigung und der Extension/ Flexion während des Versuchsablaufes. Auch hier werden die von dem System erfaßten Einzelmeßwerte,

welche von den einzeln markierten Dornfortsätzen der HWS gesendet werden, verrechnet. Unterschiede in den einzelnen HWS- Abschnitten sind nicht zu differenzieren.

### **Schulterrotation innerhalb der Extension/ Flexion**

Bei allen Probanden ist die Schulterrotation innerhalb der HWS- Extension/ Flexion über die erhobenen Meßwerte nachweisbar, in einem Bereich von ungefähr 1 Grad. Bezogen auf die HWS- Extension/ Flexion des Kopfes handelt es sich um Werte von 1 Prozent. Die durchschnittliche Schulterrotation beträgt 0,8 Grad. Es besteht kein direkter Zusammenhang zwischen der Schulterrotation und der Extension/ Flexion während des Versuchsablaufes. Auch hier werden die von dem System erfaßten Einzelmeßwerte, welche von den einzeln markierten Dornfortsätzen der HWS gesendet werden, verrechnet. Unterschiede in den einzelnen HWS- Abschnitten sind nicht zu differenzieren. (Werte für den Friedmann- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

### **Schulterseitneigung innerhalb der Extension/ Flexion**

Bei allen Probanden ist die Schulterseitneigung innerhalb der HWS- Extension/ Flexion über die erhobenen Meßwerte nachweisbar, in einem Bereich von 0,2 bis 1,5 Grad. Bezogen auf die HWS- Extension/ Flexion des Kopfes handelt es sich um Werte von 0,2 bis 1,6 Prozent. Die durchschnittliche Schulterseitneigung beträgt 0,7 Grad. Es besteht kein direkter Zusammenhang zwischen der Schulterseitneigung und der Extension/ Flexion während des Versuchsablaufes. Auch hier werden die von dem

System erfaßten Einzelmeßwerte, welche von den einzeln markierten Dornfortsätzen der HWS gesendet werden, verrechnet. Unterschiede in den einzelnen HWS- Abschnitten sind nicht zu differenzieren. (Werte für den Friedmann- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

## **7.6. HWS- Extension/ Flexion männlich**

Die vorliegenden Meßergebnisse der dynamischen Untersuchung zeigen bei den männlichen Probanden eine HWS- Extension zwischen 60,8 Grad im Maximum und 50,2 Grad im Minimum, der Mittelwert beträgt 55,7 Grad. Die HWS- Flexion zwischen 32,3 Grad im Maximum und 25,7 Grad im Minimum, der Mittelwert beträgt 28,9 Grad. Ein signifikanter Unterschied bezüglich der Reduzierung der Beweglichkeit in der Seitneigung mit zunehmendem Alter konnte auch hier nicht festgestellt werden. Anders als bei der HWS- Rotation/ HWS- Seitneigung besteht auch bei den männlichen Probanden keine bevorzugte „Extensions-/ Flexionsrichtung“. Die Winkelgeschwindigkeit der Probanden hat auch hier keine Auswirkung auf die maximale/ minimale HWS- Extension/ Flexion. Auch hier werden die von dem System erfaßten Einzelmeßwerte, welche von den einzeln markierten Dornfortsätzen der HWS gesendet werden, verrechnet. Es entsteht ein Gesamtwert für die HWS- Extension/ Flexion. Unterschiede in den einzelnen HWS- Abschnitten sind nicht zu differenzieren. Bei Reklinationswerten über 65 Grad (am Model in den Vorversuchen) ist die Hautverschieblichkeit so groß, daß die Marker übereinander rutschen und unrealistische Werte über 100 Grad gemessen werden. (Werte für den Friedmann- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

## **HWS- Rotation innerhalb der Extension/ Flexion**

Bei allen Probanden ist die Rotation der HWS, wie bei den weiblichen Probanden, über die erhobenen Meßwerte nachweisbar, in einem Bereich von 0,4 bis zu 3,3 Grad. Bezogen auf die HWS- Reklination/ Inklinaton des Kopfes handelt es sich um Werte von 0,4 bis 3,9 Prozent. Die durchschnittliche HWS- Rotation beträgt 2,1 Grad. Es besteht kein direkter Zusammenhang zwischen der HWS- Rotation und der Extension/ Flexion während des Versuchsablaufes. Auch hier werden die von dem System

erfaßten Einzelmeßwerte, welche von den einzeln markierten Dornfortsätzen der HWS gesendet werden, verrechnet. Unterschiede in den einzelnen HWS- Abschnitten sind nicht zu differenzieren. (Werte für den Friedman- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

### **HWS- Seitneigung innerhalb der Extension/ Flexion**

Bei allen Probanden ist die Seitneigung der HWS, wie bei den weiblichen Probanden, über die erhobenen Meßwerte nachweisbar, in einem Bereich von 0,5 bis zu 5,8 Grad. Bezogen auf die HWS- Extension/ Flexion des Kopfes handelt es sich um Werte von 0,6 bis 6,8 Prozent. Die durchschnittliche HWS- Seitneigung beträgt 2,0 Grad. Es besteht kein direkter Zusammenhang zwischen der HWS- Seitneigung und der Extension/ Flexion während des Versuchsablaufes. Auch hier werden die von dem System erfaßten Einzelmeßwerte, welche von den einzeln markierten Dornfortsätzen der HWS gesendet werden, verrechnet. Unterschiede in den einzelnen HWS- Abschnitten sind nicht zu differenzieren.

### **Schulterrotation innerhalb der Extension/ Flexion**

Bei allen Probanden ist die Schulterrotation innerhalb der HWS- Reklination/ Inklination, wie bei den weiblichen Probanden, über die erhobenen Meßwerte nachweisbar, in einem Bereich von ungefähr 1 Grad. Bezogen auf die HWS- Reklination/ Inklination des Kopfes handelt es sich um Werte von 0,5 Prozent. Die durchschnittliche Schulterrotation beträgt 0,5 Grad. Es besteht kein direkter Zusammenhang zwischen der Schulterrotation und der Extension/ Flexion während des Versuchsablaufes. Auch hier werden die von dem System erfaßten

Einzelmeßwerte, welche von den einzeln markierten Dornfortsätzen der HWS gesendet werden, verrechnet. Unterschiede in den einzelnen HWS- Abschnitten sind nicht zu differenzieren. (Werte für den Friedmann- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

## **Schulterseitneigung innerhalb der Extension/ Flexion**

Bei allen Probanden ist die Schulterseitneigung innerhalb der HWS- Extension/ Flexion, wie bei den weiblichen Probanden, über die erhobenen Meßwerte nachweisbar, in einem Bereich von 0,4 bis 1,5 Grad. Bezogen auf die HWS- Extension/ Flexion des Kopfes handelt es sich um Werte von 0,5 bis 1,8 Prozent. Die durchschnittliche Schulterseitneigung beträgt 0,7 Grad. Es besteht kein direkter Zusammenhang zwischen der Schulterseitneigung und der Extension/ Flexion während des Versuchsablaufes. Auch hier werden die von dem System erfaßten Einzelmeßwerte, welche von den einzeln markierten Dornfortsätzen der HWS gesendet werden, verrechnet. Unterschiede in den einzelnen HWS- Abschnitten sind

nicht zu differenzieren. (Werte für den Friedmann- und Wilcoxon- Test siehe Tabellenanhang VIII).

## 8. Diskussion

Schon zum Ende des letzten Jahrhunderts erkannte *Henke (1863)* die Bedeutung der Untersuchung der Halswirbelsäulenbeweglichkeit. Ihm folgten viele weitere interessante Studien, die im Zuge der technischen Weiterentwicklung immer komplexere Formen angenommen haben und heute zum Teil sehr detaillierte Fragen beinhalten.

Zunächst beschränken sich die Untersucher zu Beginn des Jahrhunderts in der Mehrzahl auf klinisch anatomische Untersuchungsmethoden *Fick (1904)*, *Hultkrantz (1912)* und *Poirier (1926)*. Das größte Interesse galt den oberen Halswirbelsäulenabschnitten.

Die Vereinfachung und Verbesserung der Röntgentechnik führten dann zwangsläufig zu den ersten radiologischen Studien, die sich konsequenterweise dann auch mit einer bestimmten Bewegungsrichtung der Halswirbelsäule, in einer Dimension, befaßten *Werne (1957)*, *Lysell (1969)* und *Shapiro et al (1973)*. Die radiologische Untersuchung stellt die am häufigsten validierte Meßmethode zur Beurteilung der Halswirbelsäulenbeweglichkeit in der Sagital- und Frontalebene dar *Leighton (1956)* *Kottke et al (1959)*, *Colachis (1965)*, *Fischer et al (1977)*. Die Meßmethoden sind einfach durchzuführen, jedoch mit einer erheblichen Strahlenbelastung der Testpersonen verbunden.

Erst mit Hilfe der Computertomographie waren umfangreichere Untersuchungen einzelner Halswirbelsäulenabschnitte möglich. Wie bei den ersten radiologischen Arbeiten ist auch bei den CT- Studien die obere Halswirbelsäule von größerem Interesse, jetzt werden jedoch alle drei Dimensionen der Beweglichkeit als Einzelmessung erfaßt. ( *Dvorak et al Part I and II (1987)*, *Penning et al (1987)*, *Panjabi et al (1988)* und *Dumas et al (1994)*). Hierbei steht eine noch höhere

Strahlenbelastung als bei den konventionellen radiologischen Untersuchungen und der hohe technische Aufwand der praktischen Anwendung entgegen.

Parallel zu den ersten CT- Untersuchungen werden nun auch Computerunterstützte 3D Meßverfahren *Johnston (1985)* erprobt, deren Anwendung sehr aufwendig ist.

Einen entscheidenden Fortschritt in der Anwendung zur Beweglichkeitsmessung stellen die Goniometer dar, deren Vorzüge des einfachen Handlings von vielen Autoren beschrieben wird. *Alund and Larsson (1990)*, *Bennett et al (1963)* *Buck et al (1959)*, *Loebel (1967)*, *Mayer et al(1984)*, *Reynolds (1975)*, *Youndas et al (1991)*, *Zaki (1990)*. Nachteile bestehen darin, daß die Meßwerte untersucherabhängig sind, selbst kleinste Veränderungen bei der Positionierung der Goniometer an den Landmarken führen zu großen Differenzen in den Meßwerten. Es kommen unterschiedliche Goniometer für die einzelnen Bewegungsmuster zum Einsatz, so zum Beispiel Schwerkraftgoniometer für die Extension/ Flexion und Kompassgoniometer für die Rotation. Als abschließende Weiterentwicklung wurde von *Alund and Larsson (1990)* ein Elektrogoniometer vorgestellt, dessen hervorstechende Eigenschaft es ist, daß mit einem Gerät erstmals komplexe Bewegungsabläufe registriert werden konnten. Bei allen Goniometern ist ein intensives Training notwendig, um optimal mit dem System arbeiten zu können. (*Alund and Larsson (1990)*, *Keeley et al. (1986)*, *Reynolds (1975)*, *Youndas et al. (1991)*).

Alle vorangestellten Studien haben gemeinsam, daß sie entweder technisch sehr aufwendig sind einen erfahrenen Untersucher erfordern. Sie sind sehr zeit- und kostenaufwendig und zum Teil für die zu untersuchende Person mit einer nicht unerheblichen Strahlenbelastung verbunden. Des Weiteren wurden nur in Ausnahmefällen alle drei Bewegungsrichtungen und die ganze Halswirbelsäule berücksichtigt.



Bei der Befestigung der in den Experimenten angewandten Systeme, wurde in der Vergangenheit zunächst die Befestigung im ventralen Gesichtsanteil favorisiert. *Loebl (1967 and 1973), Keely et al( 1986), Miller et al( 1993).*

*Mayer et al.( 1993)* bemerkt dazu, daß bei der Befestigung von Markern im Gesicht und bei der Befestigung von Markern direkt über den Dornfortsätzen eine zu große Ungenauigkeit besteht und diese Verfahren somit als nicht mehr zeitgemäß anzusehen sind. Die Ungenauigkeit bei der Befestigung im Gesicht ist in der Entfernung zur Wirbelsäule zu sehen und im Bereich der Dornfortsätze besteht eine übermäßige Hautverschieblichkeit. Die vorliegende Studie kommt zu dem Schluß, daß unter Verwendung des Zebris® Systems:

Die Meßergebnisse mit den Zebris® System zeigen jedoch aufgrund der erhobenen Werte, daß es doch eine Möglichkeit zur der Befestigung der Marker auf der Haut direkt über den Dornfortsätzen gibt. Wichtig dabei ist die Platzierung der Referenzmarker und eine Software die in der Lage ist, die erhobenen Werte umzurechnen.

Bei der Platzierung der Marker respektive bei der Definition der Referenzpunkte zur Durchführung der Messung der HWS- Beweglichkeit wurde von *Panjabi et al (1988)* und anderen Autoren *Mayer et al.( 1993)* als Standard das Os occipitalis gewählt. Die dieser Studie vorangegangenen Meßversuche zur Findung optimaler Meßpunkte haben gezeigt, daß das Os occipitalis bei allen Probanden leicht auszumachen ist. Zudem korrespondiert es aus anatomischer Sicht mit dem ersten Halswirbel. Es eignet sich somit zur Standardisierung dieses Meßverfahren.

Bei der sich anschließenden technischen Durchführung der Experimente gehen die Autoren verschiedenste Wege, diese sind unweigerlich an das Untersuchungssystem gebunden.

Die statischen Untersuchungen lassen wenig Spielraum bei der Interpretation der Meßergebnisse zu. Von der Strahlenbelastung der Probanden einmal abgesehen geben sie Auskunft darüber inwieweit ein Patient in der Rehabilitation Fortschritte macht oder bei dauerhaften Beeinträchtigungen eine Verbesserung oder Verschlechterung eintritt, *Mayer et al. (1993)*. Das CT ist bei der exakten Messung von Winkelgraden der Neutral- Null- Methode mit Sicherheit überlegen, zu fragen bleibt sich jedoch inwieweit eine statische Meßmethode auf einen Winkelbetrag auf eine Stelle hinter dem Komma genau zu sein hat und welchen Nutzen es für den Patienten hat.

Die dynamischen Meßverfahren bieten, im Gegensatz zu den statischen Meßmethoden, weiterführende Möglichkeiten bei der Untersuchung der HWS, insbesondere ist man in der Lage, einen komplexen Bewegungsablauf aufzuzeigen. (Tabelle I- IV).

Dabei zeigt das Zebris® System eine Möglichkeit verschiedene dynamische Bewegungsabläufe zu erfassen ohne etwas am Versuchsaufbau zu verändern, zudem kann das dynamische Geschehen, innerhalb eines Bewegungsablaufes, differenziert werden.

Die in dieser Studie ermittelten Werte, es sei hier nochmals auf die Tabellen VI-VIII verwiesen, geben einen Aufschluß über die Beweglichkeit der Halswirbelsäule in einem gesunden Patientenkollektiv. Im direkten Vergleich mit der in der Literatur ermittelten Werte zeigt, daß bezüglich der HWS- Rotation eine nicht unerhebliche Diskrepanz besteht, dieses liegt sicherlich daran das die ermittelten Werte obwohl sie die Gesamtbeweglichkeit der Halswirbelsäule erfaßt haben, zumeist die maximale Endrotation der HWS gemessen haben.

In der vorgestellten Studie wurden HWS- Rotationswerte ermittelt die sich mit den Ergebnissen von *Ferlic (1962)* decken, dieser benutzte einen Helm, der mit einer Antenne versehen war, zur Aufzeichnung seiner Werte. Größere Unterschiede gibt es bei dem Vergleich der Ergebnisse mit *Alund and Larson (1990)*, diese ermittelten Werte in der Rotation mit einem Elektrogoniometer, die um ca. 1,5 Prozent, über denen liegen die in dieser Studie ermittelt wurden. Zu erklären ist dieser Zustand wahrscheinlich damit, daß die Anordnung der Meßgeräte außerhalb der Halswirbelsäule liegen und somit andere Meßwerte zustande kommen können.

Die anderen in der Literatur beschriebenen Werte für die Rotation liegen in einem ähnlichen Bereich wie in dieser Studie ermittelt, von 140 bis 153 Grad, für die Gesamtrotation der HWS nach links und rechts. Hier ist ein direkter Vergleich mit der Studie nicht möglich, da es sich hierbei um eine CT- Studien oder Studien mit einem Flüssigkeitsgoniometer oder Kompaßgoniometer handelt. *Buck et al. (1959)*, *Bennett et al. (1963)*, *Penning and Wilminik (1978)*.

Bei dem direkten Vergleich der ermittelten Werte der HWS- Seitneigung zeigt sich ein ähnliches Bild. Die erhobenen Meßwerte liegen in Bereichen die auch von anderen Autoren publiziert worden sind. Die größte Übereinstimmung der Meßwerte besteht wiederum im Vergleich mit der Arbeit von *Ferlic (1962)*. *Alund and Larson (1990)* ermittelten mit ihrer Meßmethode Werte die wie in der HWS- Rotation, um einige Winkelgrad höher liegen (ca.15 Grad). Eine Erklärung kann wiederum in der Anordnung der Meßgeräte liegen, wie oben bereits beschrieben. Die Autoren der Flüssigkeits- und Kompaßgoniometer haben hierzu keine Meßwerte veröffentlicht.

Anders sieht es bei dem Vergleich für die in der Studie erhobene Werte für die HWS-Extension/ Flexion aus, hier sind die Unterschiede erheblich. In der vorgelegten Studie werden Werte erreicht die von keinem anderen Autoren beschrieben worden sind. Die Meßwerte liegen im Durchschnitt um etwa 15- 20 Prozent unter den Werten anderer Autoren. Dieses liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit daran, daß das angewendete System bei der Extension an seine Grenzen stößt. In der Studie wurde ein System angewendet das eine Markierung der Dornfortsätze benötigt. Bei Extensionsbewegungen über 65 Grad jedoch verschieben sich die Marker auf der Haut über einen zu tolerierenden Wert, in der Summe der Werte kommen Extensionswerte über 100 Grad zustande die anatomisch nicht durchführbar sind.

Die bisherigen Untersuchungsformen oder Studien haben wenig Wert auf die klinische Relevanz ihrer Arbeit gelegt. *Alund et al. (1990)* haben den ersten Schritt unternommen eine klinische Methode zur Beweglichkeitsmessung der Halswirbelsäule in drei Dimensionen zu etablieren. Dabei haben sie interessante Aspekte in den dynamischen Bewegungsmustern bei Rotation/ Seitneigung beschrieben.

Die Seitneigung innerhalb der HWS- Rotation und die HWS- Rotation während der Seitneigung entsteht durch eine Inklination der Intervertebralgelenke. *Fielding (1957)*, *Lysell (1969)*, *White et al (1978)* und *Penning et al (1987)*. Dieses Phänomen wurde auch in dieser Studie beobachtet. Die Seitneigung beträgt zwischen 1 bis 4,8 Grad (Median 2,9) bei den weiblichen Probanden und zwischen 2,1 und 7,4 Grad (Median 3,8) bei den männlichen Probanden. Sie liegen somit etwas niedriger als von *Alund and Larsson (1990)* publiziert, diese sind am ehesten mit dieser Studie zu vergleichen, da es bei *Alund and Larsson (1990)* auch um eine dynamische Untersuchung am gesunden Probanden handelt.

Die vergleichende Literatur beschränkt sich zurzeit auf die Messung der Halswirbelsäulenbeweglichkeit innerhalb eines Bewegungsmusters. Diese Studie zeigt sich das neben den oben beschriebenen Meßwerten zudem auch noch Werte erheben lassen die beachtet werden müssen. Bei den Meßwerten der HWS- Rotation und der HWS- Seitneigung zeigte sich, das ausnahmslos alle Probanden eine bevorzugte Rotations-/ Seitneigungsrichtung besitzen. Die Differenz ist in allen Versuchsdurchläufen nachweisbar und beträgt im Mittel 5 Grad +/- 2 Grad, dieses ist um so erstaunlicher, da die Probanden die Rotation/ Seitneigung jeweils über 18 Minuten durchzuführen hatten und die Kontrollprobanden den gleichen Versuch drei Monate später nochmals durchzuführen hatten. Vergleichende Literatur wurde zu dieser Thematik nicht gefunden.

Ein weiteres Merkmal dieser Studie ist, daß die Probanden neben den eigentlichen Bewegungsrichtungen wie Rotation, Seitneigung und Extension/ Flexion in allen Versuchsabläufen noch weitere Bewegungen durchführen. Wie oben bereits beschrieben gibt es während der Rotation der HWS noch eine Seitneigung und während der Seitneigung auch noch eine Rotation. Diese Studie zeigt noch weitere Bewegungsmuster während der HWS- Rotation. Die Probanden zeigen zudem noch eine Schulterrotation und Schulterseitneigung, auch bei der HWS- Seitneigung zeigt sich die Rotation und Seitneigung der Schulter. Einerseits ist die Schulter in diesem Studienprotokoll nicht fixiert werden, andererseits ist die Schulter als komplexer Bestandteil der Kette Kopf- Halswirbelsäule- Schulter zu sehen. Die Halswirbelsäulenmuskulatur hat ihren Ursprung nicht nur am Schädel sondern auch im Bereich des Schultergürtels und ist somit aus einer Analyse der Halswirbelsäulenbeweglichkeit nicht wegzudenken.

Gleiches gilt für die Extension/ Flexion der Halswirbelsäule. In der vorliegenden Studie sind Meßwerte bezüglich der HWS- Rotation, HWS- Seitneigung, Schulterrotation und Schulterseitneigung erhoben worden. Die Meßwerte sind erheblich geringer als in der HWS- Rotation und HWS- Seitneigung.

In der Literatur herrscht Einigkeit darüber, daß die Untersuchungsmethode einfach, präzise, schnell und ohne Belastung für die zu untersuchende Person durchzuführen sein muß.

In der Zielsetzung der Studie sollen die oben genannten Fragen zusammenfassend beantwortet werden.

Das Zebris® System ist andern elektronischen Meßsystemen bezüglich der Genauigkeit der erhobenen Meßergebnisse in der Rotation und der Seitneigung gleichzusetzen. Eine Besonderheit hat die Studie gezeigt. Die Messungen der Extension/ Flexion der Halswirbelsäule haben eine technische Grenze. Das Zebris® System hat in dieser Versuchsanordnung bei Extensionswerten über 65 Grad das Problem das die Marker so stark zusammenrutschen und sich gegenseitig stören, das Messwerte über 130 Grad gemessen werden. Diese Werte sind natürlich nicht nachvollziehbar.

Im Vergleich zu den radiologischen Meßsystemen hat das Zebris® System den Vorteil das es ohne Röntgenstrahlung arbeitet und den Patienten/ Probanden somit keiner Strahlungsquelle aussetzt, zudem zeigt es einen dynamischen Bewegungsablauf der Halswirbelsäulenbeweglichkeit.

Im Vergleich zur Neutral- Null- Methode, bietet die Neutral- Null- Methode die Möglichkeit sich einen Überblick über die Beweglichkeit der Halswirbelsäule zu verschaffen, sonst ist die Untersuchung sehr vom Untersucher abhängig und sehr ungenau. Die erhobenen Meßwerte in dieser Studie sind somit auch nicht mit dem Zebris® System zu vergleichen (Tabellenanhang IX).

Die Präzision des Zebris® System ist, wie es die Daten zeigen, sehr hoch, jedoch ist es nicht möglich das einzelne Wirbelkörper in ihrer Beweglichkeit gemessen werden können, vielmehr werden die einzelnen Abschnitte der Halswirbelsäule verrechnet und ergeben zusammen mit den Referenzmarkern ein Gesamtwert.

Bezüglich der Frage inwieweit eine Veränderung der Halswirbelsäulenbeweglichkeit im zunehmenden Alter bestehen ist anzumerken, daß im Probandenkollektiv die Altersunterschiede nicht groß genug waren um sie statisch auszuwerten, anders als in anderen Studien *Dühr et al. (1994)*, *Haaker (1996)*.

Wie groß die Differenzen der einzelnen Meßsysteme ist kann nur durch eine vergleichende Studie beantwortet werden. Die in der Studie erhobenen und von anderen Autoren publizierten Meßwerte zeigen, daß es zwischen den einzelnen Meßsystemen eben so viele Übereinstimmungen wie Differenzen gibt.

## **9. Zusammenfassung**

In den Jahren von 1994 bis 1996 wurden im Rahmen dieser Studie in Hannover insgesamt 29 Probanden mit Hilfe des Zebris® Systems untersucht/ gemessen. Dabei wurde eine vollständige Anamnese erhoben sowie eine klinische Untersuchung durchgeführt. Es wurde eine Null- Studie erarbeitet.

Diese Studie knüpft an vorangegangene Arbeiten zur mehrdimensionalen Untersuchung der Halswirbelsäule an. Sie hatten bereits Systeme vorgestellt, die in der Lage sind komplexe Bewegungsabläufe der Halswirbelsäule zu erfassen.

In dieser Studie ist dabei folgendes festgestellt worden:

Aufgrund der nicht strahlen belastenden Methode, mit einem relativ geringen apparativen Aufwand, kann die oben beschriebene Meßmethode eine Alternative zu den radiologischen Aufnahmen wie zum Beispiel den Funktionsaufnahmen sein. Das System ist als Ergänzung zur konventionellen Röntgenaufnahmen und zum CT bei pathologischen Bewegungseinschränkungen anzusehen.

Das System arbeitet weist eine hohe Präzision auf und arbeitet zuverlässig, wie die Kontrollmessungen ergeben haben. Es bedarf hierbei keinerlei Übung die Meßapparatur ordnungsgemäß zu platzieren. Sie ist also Untersucher unabhängig. Ebenso sind Verlaufsbeobachtungen, Untersucher unabhängig, über einen langen Zeitraum möglich

Die Meßmethode ist außerdem geeignet die klinische Untersuchung zu objektivieren und zu differenzieren.

Verlaufsbeobachtungen sind Untersucher unabhängig möglich. Das System bittet den Vorteil einzeln Bewegungsabschnitte heraus zu arbeiten und zu analysieren.



Die erhobenen Meßwerte zeigen, daß die in dieser Studie ermittelten Werte, mit der bereits publizierten Literatur vergleichbar sind. Zudem sind Meßwerte erhoben worden die es gilt im direkten Vergleich mit den anderen Meßmethoden zu untersuchen, da diese noch nicht publiziert worden sind.

## **Literaturverzeichnis:**

**Alund M, Larsson SE.** Three- dimensional analysis of neck motion.

Spine 1990; **15**: 87- 91

**Barton JW, and Margolis MT.** Rotational obstruction of the vertebral artery at the atlantoaxial joint.

Neuroradiologie 1975; **9**: 117

**Bennett JG, Bergmanis LE, Carpenter JK, Skowlund HV.** Range of motion of the neck.

J American Phys Therapie Ass 1963; **43**:45-47

**Berger M.** Cervicotomographie: Eine neue Methode zur Beurteilung der HWS-Funktion.

Suttgart, Ferdinand Enke Verlag 1990; **1<sup>st</sup>** edition

**Bronstein IN, Semendjajew A.** Taschenbuch der Mathematik. 24 Aufl.

Gemeinschaftsausgabe Nauka, Moskau & Teubner, Leipzig 1989

**Brown RH, Burstein AH, Nash, Schock CC.** Spinal analysis using a three-dimensional radiographic technique.

Biomech 1976; **9**: 355- 366

**Buck CA, Dameron FB, Dow MJ, Skowlund HV.** Study of normal range of motion in the neck utilizing a bubble goniometer.

Arch Phys Med Rehabil 1959; **40**:390-392

**Colachis SC, Strohm BR.** Radiographic studies of cervical spine motion in

normal subjects: flexion and hyperextension.

Arch Phys Med Rehabil 1965; **46**: 753- 760

**Dumas JL, Thoreux P, Attali P, Goldlust D, Chevrel JP.** Three- dimensional CT analysis of atlantoaxial rotation: Results in the normal subject. Surg Radiol Anat 1994; **16 ( 2)**: 199- 204

**Dühr N et al.** Alterveränderung der aktiven Beweglichkeit der Halswirbelsäule. Ortop Praxis 1994; **4**: 193

**Dvorak J, Hayek J, Zehnder R.** CT- functional diagnostics of the rotatory instability of the upper cervical spine. Part II: An evaluation of healthy adults and patients with suspected instability. Spine 1987; **12**: 726- 31

**Dvorak J.** Weichteilverletzung der Halswirbelsäule. Möglichkeiten der funktionellen Computertomographie. Manuelle Medizin 1987; **25**: 11

**Dvorak J, Panjabi M, Gerber M, Wichmann W.** CT- funktional diagnostics of the rotatory instability of upper cervical spine. 1: An experimental study on cadavers. Spine 1987; **12**: 195- 202

**Dvorak J, Froehlich D, Penning L.** Functional radiographic diagnosis of the cervical spine . Spine 1988; **13**: 748- 755

**Dvorak J, Grob D, Baumgartner H, Gschwend N, Grauer W, Larsson S.** Functional evaluation of the spinal cord by magnetic imaging in

patients with rheumatoid arthritis and instability of the upper cervical spine.

Spine 1989; **14**: 1057

**Dvorak J, Panjabi M, Novotny J, Antinnes J.** In vivo flexion/ Extension of the normal cervical spine.

Orthop Res 1991; **9**: 828- 34

**Dvorak J, Antinees JA, Panjabi M, Loustalor D, Bonomo M.** Age and gender related normal motion of the cervical spine.

Spine 1992; **17**: 393- 398

**Ferlic D.** The range of motion of the „normal“ spine

Bull Johns Hopk Hosp 1962; **110**:59-65

**Fick R.** Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke.

Jena, Fischer Verlag, 1904, 1911

**Fielding JW.** Cineroentgenography of the normal cervical spine.

J. Bone Joint Surg 1957; **39A**: 1280

**Fischer SV, Bowar JF, Awad EA, Gullickson G Jr.** Cervical orthoses

effect on cervical spine motion: Radiographic and goniometric method of study.

Arch Phys Med Rehabil 1977; **58**: 109- 115

**Haaker R, Schoppohof E, Kielich T.** Untersuchung zur HWS- Beweglichkeit mit dem Cebris- Bewegungsanalysesystem.

Orthopädische Praxis 1996;**11**: 733- 737

**Henke W.** Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke.

Leipzig und Heidelberg 1863

- Hohl M., and Baker HR.** The atlanto- axial joint  
J. Bone Joint Surg 1964; **46A**: 1739
- Hultkrantz JW.** Zur Mechanik der Kopfbewegungen beim Menschen.  
Kurgl. Sv Vet Akad. Handb 1912; **Bd. 49**, Nr 8
- Johnston WL, Vorro J, Hubbard RP.** Clinical- biomechanic correlates for  
cervical function: Part I. A kinematic study.  
Osteopath Assoc 1985; **85**: 429- 437
- Jones M. D.** Cineradiographic studies of the normal cervical spine  
Cali. Med 1960; **93**: 293- 296
- Keeley J, Mayer T, Gatchel R, Smith J, Mooney V.** Quantification of lumbar  
function 5: rebility of range -of- motion in the sagittal plane and in  
vivo torso measurement techniques.  
Spine 1986; **11**: 31- 35
- Keller H.** A clinical study of the mobility of the human spine, is extent and is  
clinical important.  
Arch Surg 1924; **8**: 627
- Kottke FJ., Mundale MO.** Range of mobility of the cervical spine.  
Arch Phys Med Rehabil 1959; **40**: 379- 383
- Lee S, Harris KG, Nassif J, Clark CR.** In vivo kinematics of the cervical  
spine. Part I: Development of a roentgen stereophotogrammetric  
technique using metallic markers and assessment of is accuracy.  
Spinal Disord 1993; **6**: 522- 534
- Loebl W.,** Measurements of spinal posture and range in spinal movements  
Ann Phys Med 1967, **9**:103
- Loebel W.** Regional rotation of the spine.

Rheum Rehabil 1973; **12**: 223- 228

**Lysell E.** Motion in the cervical spine.

Acta Orthop Scand 1969; **123**( Suppl.)

**Mayer T, Tencer A, Kristoferson S, Mooney V.** Use of noninvasive techniques for quantification of spinal range- of- motion in normal subjects and chronic low- dysfunction patients.

Spine 1984; **9**: 588- 595

**Mayer T, Brady S, Bovasso E, Pope P, Gatchel R.** Noninvasive measurement of cervical tri- planar motion in normal subjects.

Spine 1993; **18**: 2191- 2195

**Mayer T, Gatchel R, Keeley J, Mayer H, Richling D.** A male incumbent worker industrial database. Part II: Cervical spine physical capacity.

Spine 1994; **19**: 762- 764

**McKenzie RA.** The cervical and thoracic spine: Mechanical diagnosis and therapy. Waikanae, New Zealand: Spinal Publication 1991

**Mosteller F, Tukey JW.** Data analysis and regression.

Addison- Wesley Publishing Company, Massachusetts 1977

**Ordway N, Seymore R, Donelson R, Hojnowski L, Lee E, Edwards T.**

Cervical range- of- motion device, 3 Space, and radiography.

Spine 1997; **22**: 501- 508

**Panjabi M, Krag MH, Goel VK.** A technique for measurement and description

of three- dimensional six degrees- of- freedom motion of a body joint with an application to the human spine.

Biomech 1981; **130**: 317- 320

**Panjabi M, Dvorak J, Duranceau J.** Three dimensional movements of the upper cervical spine.

Spine 1988; **13**: 726

**Penning L.** Normal movements of the cervical spine.

J Roentgenol 1978; **130**: 317- 326

**Penning L, Wilmink JT.** Rotation of the cervical spine. A CT study in normal subjects.

Spine 1987; **12**: 732- 738

**Pearson ND., Walmsley RP.** trial into the effects of repeated neck retractions in normel subjects.

Spine 1995; **20**: 1245- 1251

**Poirier P, and Charpy A.** Traite d` Anatomie Humaine. 1926; **1**: 74

**Reynolds P.** Measurement of spinal mobility: a comparsion of three methods.

Rheum Rehabil 1975; **14**: 180- 185

**Sachs L.** Angewandte Statistik. 7 Aufl.

Springer, Berlin 1992

**Selecki BR.** The effects of rotation of the atlas on the axis: experimental work.

Med J Aust 1969; **1**: 1012

**Shapiro R, Youngberg AS, and Rothman SLG.** The differential diagnosis of traumatic lesions of the occipito- atlanto- axial segment.

Radiol Clin North Am. 1973; **11**: 505

**Truesdell C, Noll W.** The nonlinear field theories of mechanics- kinematics.

In: Flügge S.( Hrsg.), Handbuch der Physik

Springer, New York, 1965

**Tucci SM., Hicks JE., Gross EG, Campbell W, Danoff J.** Cervical motion assessment: A new simple, and accurate method.  
Arch Phys Med Rehabil 1986; **67**: 225- 230

**Weber W, Weber E.** Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge.  
Weber Werke 1936 Springer **Bd. 6**

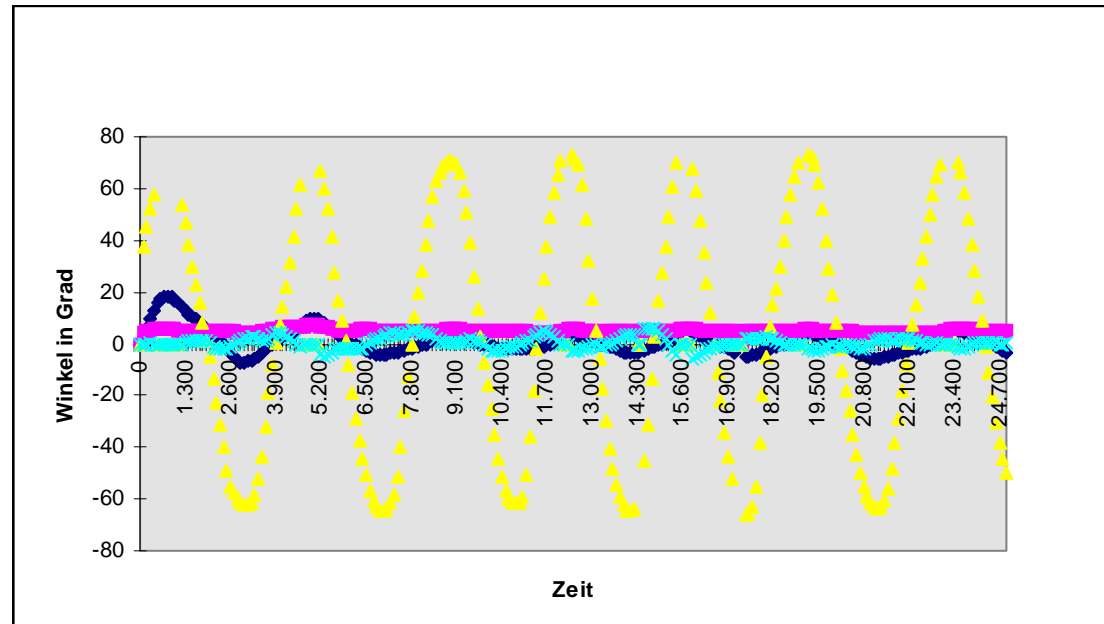
**Werne S.** Studies in spontaneous atlas dislocation.  
Acta Orthop Scand 1957; **23**:( Suppl.)

**Youdas J, Carey J, Garrett T.** Reliability of measurements of cervical spine range of motion- comparison of three methods.  
Phys Ther 1991; **71**: 98- 106

**Zaki A, Goldberg M, Kahil T et al.** Comparison between the one and two inclinometer techniques for measuring body ranges of motion using the orthoranger II  
In: Das B, ed. Archives of industrial ergonomics and safety.  
Tayler & Francis 1990; 135- 142



## Tabellenanhang I



**Dynamischer Ablauf einer HWS- Rotation**

Tabellenanhang II

Proband	Geschlecht	Alter	HWS-Rotation links in Grad Median	HWS-Rotation rechts in Grad Median	HWS-Seitneigung min/max in Grad	HWS-Seitneigung Median	Schulterrotation min/max in Grad	Schulterrotation Median	Schulterseitneigung min/max in Grad	Schulterseitneigung Median
1	w	27	65	67,3	-4,3/2,7	4,0	0,1/2,1	1,3	-1,3/0,24	0,5
2	w	23	75,7	75,7	-5,1/3,9	4,2	-2,6/1,1	1,6	0,5/3,7	2,1
3	w	28	62,7	65,8	-1,9/7,6	4,1	-0,3/3,0	1,1	-4,5/0,1	2,0
4	w	25	64,6	62,2	0,4/6,4	3,9	1/ 2,,2	0,8	2,4/4,1	1,5
5	w	25	65,4	59,4	-2,1/0,1	1,9	1,1/1,8	1,1	6,1/7,9	0,7
6	w	31	60,5	62,5	-2,9/2,9	2,1	-1,6/8,5	4,4	2,4/5,6	1,2
7	w	32	60	61,6	-1,4/2,3	1,5	-2,1/1	0,5	0,2/1,1	0,8
8	w	32	65	59,5	-7,1/-6,3	4,8	-0,9/2,7	1,1	-2,3/4,8	2,8
9	w	35	57,9	63,4	0,7/4,6	2,6	-0,7/1,1	0,8	1,4/4,6	1,7
10	w	31	59,1	62,3	-0,9/5,6	3,0	-4,7/5,7	4,1	3,6/5,8	1,6
11	w	26	67,0	70,1	-4,2/2,2	2,8	0,1/2,1	0,9	-1,5/0,1	0,9
12	w	20	75,4	75,2	-5/3,4	3,9	-2,6/1,1	1,6	0,7/4,3	1,9
13	w	32	64,2	66,4	-2,1/2,0	1,4	0,6/3,0	1,4	-4,2/0,6	2,1
14	w	24	65,1	63,3	0,5/1,5	1,0	1/ 2,5	1	2,4/4,1	1,9
Durchschnitt		27,9	64,8	65,3		2,9		1,55		1,5

Tabellenanhang III

Proband	Geschlecht	Alter	HWS-Seitneigung links in Grad Median	HWS-Seitneigung rechts in Grad Median	HWS-Rotation min/max in Grad	HWS-Rotation Median	Schulterrotation min/max in Grad	Schulterrotation Median	Schulterseitneigung min/max in Grad	Schulterseitneigung Median
1	w	27	34,4	31,5	-1,0/4,5	3,1	0,6/3,3	1,6	-2,4/1,1	1,6
2	w	23	38,5	40,9	-2,0/5,4	4,0	-1,2/2,0	1,3	3,6/5,9	1,2
3	w	28	31,8	31,8	-0,9/5,1	4,6	-0,8/3,9	1,1	-4/-1,3	1,4
4	w	25	31,6	32,9	0,2/7,1	4,8	-0,3/1,8	0,8	1,4/3,4	0,9
5	w	25	30,4	32,0	-2,1/-1,0	0,9	0,7/2,7	1,6	1,8/2,4	0,5
6	w	31	27,6	33,1	-2,2/6,1	4,3	2,0/3,0	0,5	-2,8/-2,7	0,1
7	w	32	32,6	33,9	-1,7/6,3	4,2	-1,9/-0,2	0,8	-4,3/-2,7	1,1
8	w	32	31,4	28,6	-1,8/5,9	4,1	-0,7/1,6	0,9	-0,9/1,0	0,5
9	w	35	28,7	31,8	-3,1/7,9	5,1	-0,2/0,9	0,7	2,6/4,2	1,4
10	w	31	31,4	28,3	-2,0/9,1	5,5	1,1/3,7	1,5	6,7/9,0	1,3
11	w	26	35,8	36,4	2,5/4,5	0,9	-1,0/3,2	1,7	0,4/2,6	1,3
12	w	20	37,7	39,3	1,0/7,2	4,8	-1,4/1,8	1,6	3,6/8,4	2,0
13	w	32	34,2	31,4	-4,1/2,2	4,0	-1,0/5,1	1,6	-4,1/-2,4	1,1
14	w	24	33,6	34,9	-3,9/7,1	5,2	-0,5/1,8	1,5	1,8/3,4	2,1
Durchschnitt		27,9	32,8	33,3		3,96		1,2		1,2

Tabellenanhang IV

Proband	Geschlecht	Alter	Extension	Flexion	HWS-Rotation	HWS-Rotation	HWS-Seitneigung	HWS-Seitneigung	Schulterrotation	Schulterrotation	Schulterseitneigung	Schulterseitneigung
			in Grad Median	in Grad Median	min/max in Grad	Median	min/max in Grad	Median	min/max in Grad	Median	min/max in Grad	Median
1	w	27	60,2	30,7	2,9/8,2	2,6	-5,8/2,5	3,5	-0,5/1,5	0,8	-6,6/-5,1	0,5
2	w	23	63,8	31,2	2,8/5,7	1,1	-3,0/2,7	2,2	-2,1/-0,5	0,9	2,7/5,9	1,0
3	w	28	60,3	33,4	3,1/6,2	1,7	0,0/7,9	2,9	1,4/2,7	1,0	1,6/2,5	0,4
4	w	25	61,5	29,2	0,3/3,9	1,4	-5,4/2,2	3,0	-1,0/0,2	0,5	2,7/3,5	0,5
5	w	25	62,4	30,9	1,7/7,2	2,8	-4,8/-0,2	1,3	-0,1/0,4	0,2	3,4/3,8	0,3
6	w	31	57,8	30,7	5,9/11,0	3,4	-0,9/6,0	1,8	0,7/2,1	0,9	-6,3/-5,1	0,6
7	w	32	57,6	26,6	3,1/6,1	2,1	-5,6/0,7	2,2	-2,1/-1,5	0,9	-2,6/-2,0	0,4
8	w	32	58,6	30,8	2,0/5,1	1,9	0,6/6,0	2,4	0,4/1,7	0,8	0,5/2,1	0,8
9	w	35	53,7	28,4	1,7/6,6	2,8	2,2/7,4	2,6	-0,4/0,4	0,3	3,2/5,2	1,5
10	w	31	57,7	32,5	1,5/8,3	3,1	6,3/8,8	0,9	1,6/3,0	1,1	3,7/6,3	1,5
11	w	26	67,0	35,3	4,5/8,7	2,5	-6,6/1,4	3,1	-1,5/0,5	0,8	-7,0/-5,9	0,7
12	w	20	58,2	30,7	5,6/6,9	1,1	-7,0/0,7	2,6	-1,1/2,0	1,1	2,0/2,5	0,2
13	w	32	60,7	32,0	3,2/6,0	1,4	0,1/12,3	5,6	1,5/2,6	0,7	0,9/2,7	0,8
14	w	24	61,4	32,0	1,3/3,4	2,0	-4,4/1,9	2,1	-1,0/-0,1	0,9	2,6/3,3	0,5
Durchschnitt		27,9	60,0	31,0		2,1		2,6		0,8		0,7

Tabellenanhang V

Proband	Geschlecht	Alter	HWS-Rotation links in Grad Median	HWS-Rotation rechts in Grad Median	HWS-Seitneigung min/max in Grad	HWS-Seitneigung Median	Schulterrotation min/max in Grad	Schulterrotation Median	Schulterseitneigung min/max in Grad	Schulterseitneigung Median
1	m	26	62,1	59,3	-5,2/1,0	2,7	-0,3/0,6	0,2	2,3/3,7	1,1
2	m	26	59,2	63,4	-7,7/2,4	4,7	-1,0/0,7	0,5	-1-9/1,9	1,4
3	m	21	62,4	64,0	-6,3/4,9	5,1	1,6/2,7	0,9	-0,3/3,0	1,4
4	m	20	64,0	59,5	-3,9/2,5	3,1	0,9/2,0	1,1	0,4/4,2	1,9
5	m	24	56,1	59,4	-4,1/3,8	4,1	0,8/1,7	0,7	-4,4/1,8	2,5
6	m	30	61,0	54,2	-2,4/7,3	4,8	1,1/2,5	0,7	0,1/2,1	1,1
7	m	33	58,2	61,0	-6,8/0,2	2,4	-1,6/7,8	5,1	-0,4/3,4	1,7
8	m	34	59,2	61,9	-2,6/3,4	2,8	-1,8/-1,2	0,3	0,4/2,8	1,3
9	m	33	56,2	57,8	-2,1/3,3	2,4	0,4/2,1	0,8	-2,8/1,5	2,1
10	m	37	55,1	58,4	-12,7/-0,8	7,4	-5,0/7,2	5,1	2,7/4,9	1,4
11	m	33	56,3	59,9	-3,5/1,9	3,1	1,2/1,9	0,8	-4,4/2,0	3,1
12	m	30	61,4	64,3	-2,5/8,5	5,4	1,1/2,5	0,7	0,2/2,2	1,9
13	m	26	58,3	61,0	-3,3/0,5	2,1	-4,8/4,9	6,1	1,0/5,3	2,6
14	m	35	59,4	61,7	-1,5/4,5	2,7	-2,2/-1,2	0,4	-0,7/2,7	1,4
15	m	22	63,2	61,6	-6,9/2,7	4,1	1,4/2,4	0,6	0,6/3,1	1,4
Durchschnitt		27,9	59,5	60,5		3,8		1,6		1,9

Tabellenanhang VI

Proband	Geschlecht	Alter	HWS-Seitneigung links in Grad Median	HWS-Seitneigung rechts in Grad Median	HWS-Rotation Min/max in Grad	HWS-Rotation Median	Schulterrotation min/max in Grad	Schulterrotation Median	Schulterseitneigung min/max in Grad	Schulterseitneigung Median
1	m	26	30,2	32,9	-2,1/2,2	1,9	0,5/1,7	0,4	-0,7/1,0	0,8
2	m	26	32,3	28,4	-3,4/3,1	3,2	3,4/6,0	1,2	1,4/4,4	1,2
3	m	21	34,0	30,4	2,1/7,9	2,8	-2,5/-1,1	0,4	0,8/4,4	1,6
4	m	20	31,5	29,6	-6,1/-0,2	3,0	3,6/5,3	1,1	-3,6/1,0	1,5
5	m	24	28,4	31,4	-0,9/8,1	3,4	-5,4/-2,2	1,1	-1,9/2,1	0,2
6	m	30	27,4	27,0	-1,1/5,2	2,8	0,7/2,4	0,8	-1,9/0,7	0,9
7	m	33	26,7	31,7	-2,7/4,4	2,8	4,5/5,5	0,4	4,4/5,9	0,8
8	m	34	28,1	30,4	-1,1/6,3	4,1	-1,0/0,4	0,4	-6,6/-2,7	1,3
9	m	33	28,8	26,4	1,2/10,1	4,5	1,4/7,4	2,1	-4,0/2,3	1,9
10	m	37	28,0	30,9	-2,4/3,5	2,4	3,3/4,5	0,8	-7,3/-4,4	1,4
11	m	33	29,0	30,5	-4,0/1,2	1,9	0,5/1,9	0,7	-2,5/1,7	1,4
12	m	30	28,1	26,3	-2,9/5,5	3,7	0,9/2,0	0,9	-2,1/1,2	1,4
13	m	26	27,1	32,3	-1,2/5,8	3,7	1,3/2,5	0,6	2,5/6,2	1,8
14	m	35	28,9	31,1	4,1/8,3	2,9	-1,5/-0,6	0,5	-2,7/-1,8	0,4
15	m	22	31,4	31,7	-1,9/2,0	1,2	-2,9/4,8	2,9	-3,4/-3,2	0,1
Durchschnitt			29,3	30,0		2,95		0,95		1,1

Tabellenanhang VII

Proband	Geschlecht	Alter	Extension	Flexion	HWS-Rotation	HWS-Rotation	HWS-Seitneigung	HWS-Seitneigung	Schulterrotation	Schulterrotation	Schulterseitneigung	Schulterseitneigung
			in Grad Median	in Grad Median	min/max in Grad	Median	min/max in Grad	Median	min/max in Grad	Median	min/max in Grad	Median
1	m	26	55,8	29,5	-4,2/-1,5	1,4	-04,0/0,9	0,7	0,8/1,1	0,2	2,1/2,6	0,7
2	m	26	54,5	26,9	0,2/1,2	0,4	8,0/12,0	1,4	1,1/1,7	0,3	0,5/2,4	1,6
3	m	21	58,3	27,8	-1,0/7,0	3,3	1,4/5,7	1,9	4,4/5,3	0,5	-0,6/0,3	0,5
4	m	20	60,8	29,7	-0,3/4,1	1,9	-5,4/-1,6	2,1	1,3/1,9	0,2	0,3/1,0	0,4
5	m	24	53,6	26,9	0,3/5,1	2,1	-3,8/-0,4	1,4	0,9/1,4	0,3	-1,8/-0,8	1,1
6	m	30	56,3	28,7	1,3/4,1	2,0	-6,6/-5,9	0,8	-3,5/-2,7	0,8	-0,5/0,4	0,4
7	m	33	56,4	29,0	-1,2/1,7	1,4	-2,2/4,1	2,5	3,6/4,7	0,8	4,7/5,5	0,8
8	m	34	58,2	31,0	3,5/7,8	2,8	1,3/7,4	2,2	-2,4/-1,6	0,4	-3,2/-2,0	0,5
9	m	33	50,2	25,7	-3,7/2,0	2,4	0,5/3,5	1,2	0,5/1,1	0,4	0,6/1,5	0,4
10	m	37	52,3	32,3	-4,0/7,0	3,3	-10,0/-5,2	3,4	-5,1/-2,9	1,2	3,1/5,3	1,4
11	m	33	52,6	30,0	0,5/5,2	2,7	-3,8/-0,4	2,1	0,8/2,4	0,9	-1,7/-0,7	0,6
12	m	30	54,6	29,0	-1,4/4,4	2,1	-7,1/-6,9	0,5	-2,8/-2,4	0,1	0,9/1,0	0,1
13	m	26	57,6	28,4	-1,4/1,5	1,1	-2,2/4,4	3,4	3,5/4,6	0,8	2,8/5,5	1,5
14	m	35	54,7	27,2	4,6/8,4	3,1	0,6/9,1	5,8	2,1/2,7	0,3	2,1/3,4	0,5
15	m	22	59,4	31,7	1,1/3,0	2,0	-0,4/1,8	0,9	1,4/1,7	0,2	0,3/1,1	0,4
Durchschnitt			55,7	28,9		2,1		2,0		0,5		0,7

Tabellenanhang VIII

Zusammenfassende Ergebnisse aller Probanden:

Weibliche Probanden	HWS- Rotation	HWS- Seitneigung	Schulter- Rotation	Schulter- Seitneigung	HWS- Extension Flexion	Friedmann Test P		Wilcoxon Test P	
							(r <sup>2</sup> )		(r <sup>2</sup> )
HWS- Rotation links	64,8 +/- 17,8	2,9 +/- 0,8	1,3 +/- 1,6	1,5 +/- 1,1		0.186	0.91	0.198	0.95
HWS- Rotation rechts	65,3 +/- 16,3					0.2215	0.88	0.199	0.91

HWS- Seitneigung links	3,96 +/- 3,6	32,8 +/- 10,8	1,2 +/- 0,8	1,2 +/- 0,2		0.213	0.79	0.2122	0.87
HWS- Seitneigung rechts		33,3 +/- 12,5				0.22	0.92	0.2358	0.88

HWS- Extension	2,1 +/- 2,0	0,7 +/- 0,5	0,8 +/- 0,4	2,6 +/- 1,7	60 +/- 10,1	0.297	0.85	0.2	0.8
HWS- Flexion					31 +/- 8,7	0.289	0.82	0.324	0.71

Männliche Probanden	HWS- Rotation	HWS- Seitneigung	Schulter- Rotation	Schulter- Seitneigung	HWS- Extension Flexion	Friedmann Test P		Wilcoxon Test P	
							(r <sup>2</sup> )		(r <sup>2</sup> )
HWS- Rotation links	59,5 +/- 8,9	3,8 +/- 4,3	0,95 +/- 3,9	1,9 +/- 1,6		0.191	0.95	0.2215	0.88
HWS- Rotation rechts	60,5 +/- 10,1					0.192	0.89	0.211	0.9

HWS- Seitneigung links	2,95 +/- 2,3	29,3 +/- 7,3	0,95 +/- 1,5	1,1 +/- 0,9		0.32	0.68	0.199	0.88
HWS- Seitneigung rechts		30 +/- 6,6				0.287	0.71	0.212	0.79

HWS- Extension	2,1 +/- 1,7	2 +/- 3,8	0,5 +/- 1,1	0,7 +/- 0,6	55,7 +/- 10,6	0.2845	0.89	0.331	0.81
HWS- Flexion					28,9 +/- 6,3	0.2799	0.81	0.3112	0.81

Tabellenanhang IX

weiblich



Zusammenfassung Vergleich Zebris Neutral- Null Proband	Geschlecht	Alter	HWS- Rotation links Median	HWS- Rotation rechts Median	Neutral Null- Methode L/R	HWS- Seitneigung links Median	HWS- Seitneigung rechts Median	Neutral Null- Methode L/R	Extension/ Flexion Median	Neutral Null- Methode
1	w	27	65	67,3	70/70	34,4	31,5	35/35	60,2/30,7	60/40
2	w	23	75,7	75,7	75/70	38,5	40,9	35/40	63,8/31,2	60/40
3	w	28	62,7	65,8	65/65	31,8	31,8	35/35	60,3/33,4	60/40
4	w	25	64,6	62,2	70/70	31,6	32,9	35/35	61,5/29,2	60/40
5	w	25	65,4	59,4	70/65	30,4	32,0	30/30	62,4/30,9	60/40
6	w	31	60,5	62,5	65/65	27,6	33,1	30/30	57,8/30,7	60/40
7	w	32	60	61,6	60/60	32,6	33,9	35/35	57,6/26,6	60/40
8	w	32	65	59,5	70/65	31,4	28,6	35/30	58,6/30,8	60/40
9	w	35	57,9	63,4	65/65	28,7	31,8	30/30	53,7/28,4	50/40
10	w	31	59,1	62,3	60/65	31,4	28,3	30/30	57,7/32,5	55/40
11	w	26	67,0	70,1	70/75	35,8	36,4	35/35	67,0/35,3	60/50
12	w	20	75,4	75,2	70/70	37,7	39,3	40/40	58,2/30,7	55/40
13	w	32	64,2	66,4	65/65	34,2	31,4	35/35	60,7/32,0	55/40
14	w	24	65,1	63,3	70/65	33,6	34,9	30/30	61,4/32,0	60/40

Tabellenanhang IX

männlich

Zusammenfassung Vergleich Zebris Neutral- Null Proband	Geschlecht	Alter	HWS- Rotation links Median	HWS- Rotation rechts Median	Neutral Null- Methode L/R	HWS- Seitneigung links	HWS- Seitneigung rechts	Neutral Null- Methode L/R	Extension/ Flexion	Neutral Null- Methode
1	m	26	65	67,3	60/60	30,2	32,9	30/35	55,8/29,5	55/35
2	m	26	75,7	75,7	70/70	32,3	28,4	30/35	54,5/26,9	55/35
3	m	21	62,7	65,8	65/65	34,0	30,4	35/35	58,3/27,8	55/35
4	m	20	64,6	62,2	60/65	31,5	29,6	30/30	60,8/29,7	60/40
5	m	24	65,4	59,4	60/60	28,4	31,4	30/30	53,6/26,9	55/35
6	m	30	60,5	62,5	60/60	27,4	27,0	30/30	56,3/28,7	55/35
7	m	33	60	61,6	60/65	26,7	31,7	30/35	56,4/29,0	60/35
8	m	34	65	59,5	60/60	28,1	30,4	30/30	58,2/31,0	60/50
9	m	33	57,9	63,4	60/65	28,8	26,4	30/30	50,2/25,7	55/35
10	m	37	59,1	62,3	60/60	28,0	30,9	35/30	52,3/32,3	55/35
11	m	33	67,0	70,1	65/65	29,0	30,5	30/30	52,6/30,0	55/35
12	m	30	75,4	75,2	75/70	28,1	26,3	30/30	54,6/29,0	55/35
13	m	26	64,2	66,4	65/65	27,1	32,3	30/30	57,6/28,4	60/40
14	m	35	65,1	63,3	70/65	28,9	31,1	30/35	54,7/27,2	60/40
15	m	22	63,2	61,6	60/65	31,4	31,7	35/30	59,4/31,7	60/45

# Lebenslauf

Name: Tausendfreund  
Vorname: Jens  
Geburtsdatum/ -ort: 05. 08. 1964  
Anschrift: Wietzegraben 27, 31319 Sehnde/ Höver  
Familienstand: verheiratet, 2 Kinder

## Schule/ Ausbildung:

April 1984 Allgemeine Hochschulreife  
Oktober 1984 Ausbildung zum pharmazeutisch technischen Assistenten  
Erfolgreicher Abschluß im Juli 1987  
August 1987 Aushilfstätigkeit bei den Firmen Kellogg und Recaro  
April 1988 15 Monate Wehrdienst in Rotenburg an der Wümme

## Studium:

Oktober 1989 Immatrikulation an der Medizinischen Hochschule Hannover  
November 1996 Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

## Praktisches Jahr:

Oktober 1995 Erster Block in der Orthopädie an der Schulthess Klinik in Zürich ( Schweiz)

## Arzt im Praktikum:

01.12.1996 bis 31.05.1998 Arzt im Praktikum , KKH Großburgwedel, Abt. Chirurgie, Chefarzt Dr. H. E. van Alste

## Assistenzarzt:

01.06.1998 bis heute Assistenzarzt in der Abt. für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Chefarzt Prof. Lobenhoffer

Meine akademischen Lehrer waren Herr Dr. med. Berendsen in Kiel, Herr Prof. Dr. med. Lobenhoffer in Hannover und Herr Prof. Dr. med. Siebert in Kassel.

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. Siebert für seine stets zügige und unermüdliche Betreuung sowie für die vielfältigen Anregungen zu dieser Dissertation recht herzlich bedanken.

Für seine hilfreiche Unterstützung bin ich außerdem Herrn Prof. Dr. med. Lobenhoffer und Herrn Dr. med. Berendsen zu Dank verpflichtet, ohne die diese Arbeit nicht in die Tat umzusetzen gewesen wäre.

## **Erklärung nach § 16 der Promotionsordnung**

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel

“ Dreidimensionale Bewegungsanalyse der Halswirbelsäule mit dem Zebris® Ultraschallsystem“

in der Orthopädischen Klinik unter Leitung von Prof. Dr. med. Siebert.. mit Unterstützung von Dr. med. Berendsen ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keinem in- und ausländischen Medizinischen Fachgebiet ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Marburg, den 15.01.2003