

---

# WIRBELSÄULENFORM UND –BEWEGLICHKEIT IM SCHULALTER

Hanna Roiha

---



München 2004



Aus der Orthopädischen Klinik und Poliklinik  
der Ludwig-Maximilians-Universität München, Großhadern  
Direktor: Univ. Prof. Dr. med. H. J. Refior

---

**Wirbelsäulenform und –beweglichkeit  
im Schulalter**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

**Hanna Roiha**

aus

**Helsinki**

2004

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Priv. Doz. Dr. med. M. Maier  
Mitberichterstatter: Prof. Dr. Dr. h.c. R. Putz  
Prof. Dr. D. Kunze  
Prof. Dr. G. Stucki  
Mitbetreuung durch  
die promovierten Mitarbeiter: Prof. Dr. med. M. Krismer  
Dr. med. S. Trobos  
Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. K. Peter  
Tag der mündlichen Prüfung: 29.04.2004

*Meiner Familie:*

*Wohin ich auch gehe, ich werde niemals vergessen,  
wer mir half, dorthin zu kommen.*

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1.</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>PROBANDEN UND METHODEN</b>	<b>6</b>
2.1.	PROBANDEN	6
2.2	UNTERSUCHUNGSMETHODEN UND INSTRUMENTE	7
2.2.1.	Orthopädische Anamnese	7
2.2.3.	Bestimmung der Wirbelsäulenform und –beweglichkeit mittels Zebris 3D-Bewegungsanalyse	12
2.3	STUDIENDESIGN	20
2.4	STATISTIK	22
2.4.1.	Fallzahlbestimmung für 3D-Bewegungsanalyse und Formbestimmung der Wirbelsäule	23
2.4.2.	Auswertung der Parameter für Wirbelsäulenform und -beweglichkeit	23
<b>3.</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>25</b>
3.1.	GRÖÖE UND GEWICHT	25
3.2.	KLINISCHE INSPEKTION	25
3.3	UNTERSUCHUNG DER WIRBELSÄULENFORM	26
3.4.	UNTERSUCHUNG DER WIRBELSÄULENBEGWGLICHKEIT	28
3.5	EINFLUSS VON MUSKULÄREN VERKÜRZUNGEN ODER SCHWÄCHEN AUF DIE WIRBELSÄULENFORM UND – BEWEGLICHKEIT	31

<b>4.</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>32</b>
4.1.	DISKUSSION VON MATERIAL UND METHODEN	32
4.1.1	Probandenauswahl	32
4.1.2	Untersuchung der Wirbelsäulenform	33
4.1.3	Untersuchung der Wirbelsäulenbeweglichkeit	34
4.2.	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	36
4.2.1	Orthopädische Untersuchung	36
4.2.2	Wirbelsäulenform	37
4.2.3	Wirbelsäulenbeweglichkeit	39
<b>5.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>44</b>
<b>6.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>46</b>
<b>7.</b>	<b>ANHANG: TABELLEN UND ABBILDUNGEN</b>	<b>54</b>
	<b>LEBENS LAUF</b>	<b>122</b>
	<b>DANKSAGUNG</b>	<b>123</b>

## 1. EINLEITUNG

In der Tages- und Fachpresse wird zunehmend über Wirbelsäulenfehlhaltungen bzw. Wirbelsäulenschäden bei Kindern und Jugendlichen berichtet. Dabei werden Begriffe wie „Haltungsfehler“ und „Wirbelsäulenfehlform“ verwendet, ohne dass es für diese Begriffe eine klare Definition gibt. In der anglo-amerikanischen Literatur ist der Begriff des Haltungsschadens gänzlich unbekannt und im deutschsprachigen Raum bestehen in der Nomenklatur der Haltungsfehler große Differenzen. Somit ist es nicht verwunderlich, dass die Angaben über die Zahl der Kinder, die an einer Haltungsschwäche bzw. einem Haltungsschaden leiden, zwischen 10 und 75% (Breitenfelder 1955, Gussmann 1975, Jentschura 1955, Johnsson 1983, Neugebauer 1976, Salminen 1984) schwanken. Auch heute noch gibt es keine eindeutigen, allgemein anerkannten und vor allem objektiven Kriterien zur Beurteilung der Haltung, sodass lediglich der subjektive Eindruck von Ärzten für die Kategorisierung normale Haltung – Haltungsschwäche – Haltungsschaden maßgebend ist.

Diese Begriffe werden in Publikationen oft in Anlehnung an Matthiass (1966) verwendet, nach dessen Beschreibung ein Haltungsfehler eine „Störung des dauernden Wechsels zwischen Ruhehaltung, habitueller und aufgerichteter Haltung“ darstellt. Er trennt bei der Beurteilung der Haltung die Wirbelsäulenform von der Haltung selbst: Die Form des Rückens ist seiner Ansicht nach gegeben durch das Skelettsystem und im Gegensatz zur Haltung nicht willkürlich zu verändern. Er teilt die Rückenformen in Anlehnung an Staffel (1889) grobklinisch in einen Normalrücken, einen Hohlrücken, einen Hohlrundrücken und einen Flachrücken ein.

Diese Begriffe sind scheinbar eindeutig, doch die gegenseitige Abgrenzung gelingt nur schwer, da es keine klare Abgrenzung des sogenannten „Normalen“ gibt. Bezüglich der Haltung beschreibt Matthiass die Haltungsschwäche im Sinne eines flexiblen, und einen Haltungsschaden im Sinne eines fixierten Rund- oder Hohlrundrückens.

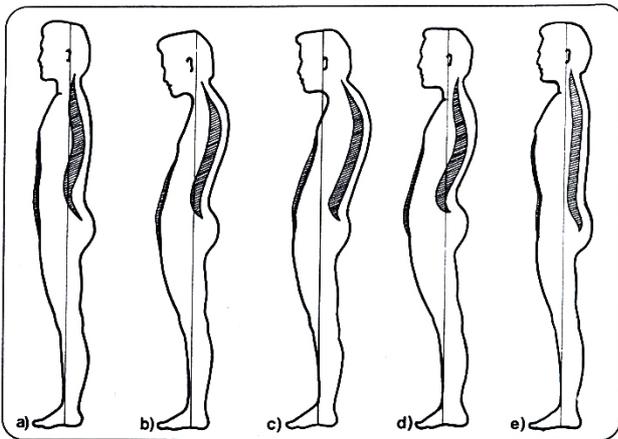


Abb. 1 Funktionelle oder reversible Haltungfehler (a. normal, b. oberer Rundrücken, c. langer Rundrücken, d. Hohlkreuz, e. Flachrücken) (Salminen et al 1984).

Die in Österreich immer wieder zitierten Untersuchungen wurden von Schulärzten durchgeführt, die im Rahmen der vorgeschriebenen schulärztlichen Untersuchung auch das Achsenskelett zu beurteilen haben. Hinweise über die normale Haltung, Haltungsschwächen oder Wirbelsäulenfehlformen werden in diesen Untersuchungsbögen nicht mitgeliefert, was wiederum die Objektivität der Untersuchungsergebnisse in Frage stellt. Es hat sich gezeigt, dass die rein klinische Blickdiagnose von nicht speziell geschulten Ärzten nicht ausreicht und sich ebenso wenig bewährt hat wie diverse funktionelle Tests, die meist so zeitaufwendig sind, dass sie für Reihenuntersuchungen praktisch nicht anwendbar sind.

Deshalb scheint es notwendig, eine Methode zu finden, mit der es einerseits möglich ist, wirkliche Haltungsverfäler zu erkennen und entsprechender Fachbehandlung zuzuföhren, andererseits gesunde Kinder und Jugendliche vor der doch belastenden Diagnose „Haltungsverfälen“ zu verschonen.

Bis heute ist noch keine Studie durchgeföhrt worden, mit deren Hilfe eine klare Aussage über die Normalverteilung der Wirbelsäulenform und über die Prävalenz von Wirbelsäulenfehlformen getroffen werden könnte. Es wird mehrfach postuliert, dass Haltungsverfäler in der Pubertät zunehmen (Breitenfelder 1955, Koetschau 1955, Matthiass 1966, Schede 1935, Thomsen 1955), und dass in der frühen Kindheit aufgetretene Haltungsverfälen bzw. Haltungsverfälen in der Phase der Pubertät erneut und dann verstärkt in Erscheinung treten. Weiter werden Haltungsverfälen häufig mit der Körpergröße und der Konstitution in Zusammenhang gebracht: Als Gefahr für die Haltungsverfälerung wird demnach ein gesteigertes Längenwachstum und der leptosome, weniger der pyknische und am geringsten der athletische Körperbau gesehen. Auch wird die Schuld für den „Haltungsverfälen“ der Schüler oft in nicht körpergerechten Schulmöbeln (Neugebauer 1976, Schoberth 1962) und dem einseitigen Tragen von schweren Schultaschen gesucht. Doch auch bei diesen Studien fehlt eine Übereinstimmung hinsichtlich der Zahl der Haltungsverfäler.

Bezüglich der Beweglichkeit der Wirbelsäule gibt es Untersuchungen bei Erwachsenen, für Kinder und Jugendliche sind jedoch diesbezüglich nur unzureichend Daten bekannt. Somit konnten bis jetzt nur Vermutungen darüber geäußert werden, wie sich die Beweglichkeit im Laufe der Entwicklung und des Wachstums verändert (Salminen 1984), und ob es z.B. geschlechtliche Unterschiede in der Beweglichkeit gibt.

Unklar ist auch, wie sich die Beweglichkeit auf mögliche Schäden an der Wirbelsäule auswirkt und wo die Grenzen für eine „optimale“ Beweglichkeit zu ziehen wären.

Angeregt durch den Eindruck einer großen Zahl von Haltungsschwächen bzw. Haltungsschäden, sind in letzter Zeit unter der Annahme einer präventiven Wirkung verschiedenste Bewegungsprogramme eingeleitet worden, von denen als Beispiele das Haltungs- und Pauseturnen sowie der bewegte Unterricht zu nennen sind.

In den vergangenen Jahren sind zunehmend Untersuchungsergebnisse (Salminen et al. 1992, Nissinen et al. 1994, Balague et al. 1994 und 1995, Burton et al. 1996, Leboef-Yde & Kyvik 1998) veröffentlicht worden, aus denen die Häufigkeit von Schmerzzuständen am Achsenskelett bei Kindern und Jugendlichen hervorgeht. Aus Berichten der Sozialversicherungsträger und Pensionsversicherungen ist zu entnehmen, dass aufgrund von Wirbelsäulenschäden ein beträchtlicher Teil der Krankenstandstage zustande kommt, und dass der häufigste Grund für das Ansuchen um Frühpensionen Lumbalgien bzw. Lumboischialgien sind (Alaranta et al 1983, Andersson et al 1981, Benn et al 1975, Korpi et al 1982). Chronische Schmerzzustände haben somit eine große gesundheitspolitische und gesundheitsökonomische Bedeutung. Es ist unklar, welche Bedeutung „Haltungsschwächen“ bzw. „Haltungsschäden“ auf mögliche zukünftige Schäden oder Schmerzen am Bewegungsapparat haben. Deshalb ist es sinnvoll und wichtig, die Verteilung der Wirbelsäulenform und -beweglichkeit bei Kindern und Jugendlichen zu erfassen, um dadurch eine Abweichung von der „Norm“ objektiv beschreiben zu können.

Erst dadurch wird es möglich, die Häufigkeit von „Haltungsfehlern“ und „Haltungsschäden“ zu beschreiben. Die vorliegende Studie soll ein erster Schritt in diese Richtung sein mit dem Ziel, die Wirbelsäulenform und –beweglichkeit eines nicht selektionierten Kollektives von Schülern mit einem exakten, reproduzierbaren und objektiven Messverfahren zu erheben, und zu untersuchen, ob eine Verbindung zwischen „Haltungsfehlern“ und „Haltungsschäden“ einerseits und Schmerzen im Jugend- und Erwachsenenalter andererseits bestehen. Aktivitäten zur Prävention derartiger Schmerzen durch Beseitigung von „Haltungsfehlern“ sind nur dann legitim, wenn ein derartiger Zusammenhang nachgewiesen ist.

## **2. PROBANDEN UND METHODEN**

### **2.1. PROBANDEN**

Bei den untersuchten Schülern handelt es sich um eine repräsentative Stichprobe von insgesamt 1506 Kindern und Jugendlichen zwischen 8 und 18 Jahren. Für die Studie wurden 18 Schulen (4 Volksschulen und 14 Gymnasien) aus allen Bezirken Tirols angeschrieben. Die Direktoren haben die weitere Schülersauswahl getroffen, indem sie aus organisatorischen Gründen klassenweise Freiwillige gesucht haben. Aus jeder Altersstufe haben wir durch dieses Verfahren ein Kollektiv von Schülern zusammengebracht, das nach Einholen einer schriftlichen Einwilligung (unterschrieben von den Eltern) untersucht wurde. Die Verteilung auf die verschiedenen Altersklassen erfolgte dabei nach vollendeten Lebensjahren, d.h. Kinder, die z.B. zum Zeitpunkt der Untersuchung 13 Jahre und 9 Monate alt waren, haben zur Altersklasse der 13-jährigen gehört. Durch die Verteilung auf ganz Tirol und auf verschiedene Schularten war ein breiter Querschnitt an Probanden gewährleistet. Das bedeutet, dass annähernd gleich viele „Stadtkinder“ wie Kinder aus ländlichen Gebieten untersucht wurden, und dass Schüler unterschiedlichster familiärer und sozialer Herkunft vertreten waren. Auch gab es durch diese Probandenauswahl sowohl Schüler, die leistungsmäßig Sport betreiben, als auch Schüler, die kaum sportlich aktiv sind. Für die Erhebung der anthropomorphometrischen Normdaten galten als Ausschlusskriterien:

- Probanden, die häufig oder andauernd Schmerzen im Bereich der Wirbelsäule angaben,
- Probanden, die zum Zeitpunkt der Untersuchung bzw. 2 Wochen vor der durchgeführten Untersuchung Schmerzen an der Wirbelsäule hatten,
- Probanden, bei denen im Rahmen der klinisch-orthopädischen Untersuchung manifeste Erkrankungen der Wirbelsäule erhoben wurden.

Die Untersuchungen fanden während der Unterrichtszeit (zwischen 8 und 13 Uhr) in den jeweiligen Schulen statt, wodurch die Schüler möglichst wenig vom Unterricht versäumt haben. Außerdem konnten durch die festgelegte Untersuchungszeit Messungenauigkeiten aufgrund der zirkadianen Veränderungen der Wirbelsäulenbeweglichkeit (Ensink et al 1996, Wing et al. 1992) vermieden werden. Die Untersuchungszeit hat pro Schüler insgesamt etwa eine Stunde betragen.

## **2.2 UNTERSUCHUNGSMETHODEN UND INSTRUMENTE**

### **2.2.1. Orthopädische Anamnese**

Bei der Anamnese wurde zur Datenerfassung der Probanden deren Name, Alter, Geburtsdatum, Geschlecht und Schulart (Volksschule, Hauptschule, berufsbildende Schule, Gymnasium) dokumentiert. Weiter hat die Anamnese eine detaillierte Befragung über Vorerkrankungen am Bewegungsapparat, Operationen und Verletzungen beinhaltet.

Dabei war das Hauptaugenmerk auf Erkrankungen der Hüfte (Dysplasie, M.Perthes, Epiphysiolyse) und der Wirbelsäule (Skoliose, Kyphose, Listhese, M.Scheuermann) gerichtet. Zudem wurden die Schüler gefragt, ob bei ihnen eine Beinlängendifferenz bekannt ist und ob sie wegen eines Klumpfußes in Behandlung gewesen sind. Zur Erfassung einer systemischen Erkrankung sollten die Kinder und Jugendlichen Angaben über regelmäßig eingenommene Medikamente machen. Im Anamnesebogen wurde bei den systemischen Erkrankungen zwischen juveniler PCP, Erkrankungen der Atemwege, des Herz-Kreislauf-Systems, des ZNS und des Magen-Darm-Traktes unterschieden. Als Kriterium für die Pubertät haben wir bei den Mädchen die Menarche und bei den Jungen die Achselbehaarung gewählt. Die Mädchen wurden beim letzten Punkt der Anamnese nach dem Zeitpunkt der ersten Regelblutung gefragt, bei den Jungen konnte die Frage Pubertät ja/nein bei der klinisch-orthopädischen Untersuchung beantwortet werden.

### **2.2.2. Klinisch-orthopädische Untersuchung**

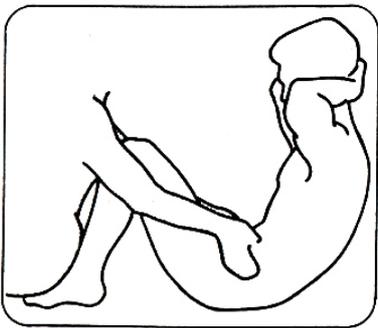
Die orthopädische Untersuchung hat die Beurteilung der Wirbelsäule auf Form, Ausrichtung und Krümmung beinhaltet. Die Wirbelsäule wurde zunächst in aufrechtem Stand, dann in Anteflexion, Extension und Lateralflexion untersucht. Im aufrechten Stand wurden Schulterstand, Beckenstand und Taillendreieck beachtet. Um zu beurteilen, ob die Wirbelsäule lotrecht ist, haben wir ein Pendel benutzt, das an den Dornfortsatz von C7 gehalten und hängen gelassen wurde. Hat das Pendel dem Verlauf der Gesäßfalte gefolgt, war die Wirbelsäule im Lot, wenn nicht, wurde das Ausmaß der Abweichung nach rechts oder links in cm angegeben.

Die Dokumentation eines Schulterhochstandes oder Beckenschiefstandes erfolgte ebenfalls mit Zentimeterangaben auf dem Untersuchungsbogen (z.B. Beckenschiefstand rechts +1cm). In Anteflexion haben wir auf Lendenwulst und Rippenbuckel geachtet. Die Untersuchung der Beinachse hat zum Ausschluss von Erkrankungen am Bewegungsapparat gedient. Dabei wurden das rechte und das linke Bein getrennt voneinander auf eine Varus-, Valgus-, Rekurvations- und/oder Beugekontrakturstellung in Graden von 0-10, 10-20 und mehr als 20 Grad (°) beurteilt.

Die Beurteilung der Beinachse haben wir einheitlich mit einer eigenen Methode durchgeführt, die sich als einfach, reproduzierbar und verlässlich erwiesen hat: Zwischen ersten und zweiten Zeh wurde ein Holzplättchen eingehakt, an dem eine Schnur befestigt war. Das andere Ende der Schnur wurde 2 Querfinger medial der Spina iliaca anterior gehalten und der Verlauf der Schnur hinsichtlich der Patella beurteilt. Verließ die Schnur lateral der Patella, lag eine Valgusstellung vor, verlief die Schnur medial der Patella, hat es sich um eine Varusstellung gehandelt. Die Untersuchung der Hüftgelenks- und Kniegelenksbeweglichkeit erfolgte mittels Neutral-Null-Methode. Dabei wurden Flexion, Extension, Abduktion, Adduktion, Innenrotation und Außenrotation geprüft und mögliche Bewegungseinschränkungen links, rechts oder beidseits mit Angabe der eingeschränkten Bewegungsrichtung vermerkt.

Bei den Muskelfunktionsprüfungen handelte es sich um die Untersuchung der groben Kraft von Bauchmuskulatur und autochtoner Rückenmuskulatur sowie um die Testung der Dehnfähigkeit von M. iliopsoas und der ischioruralen Muskulatur. Die Untersuchungen wurden 1978 von Kendall beschrieben und von uns wie folgt durchgeführt:

- Isometrische Kraftprüfung der Bauchmuskulatur: Der Proband hat die Ausgangsstellung in Rückenlage auf einer festen Unterlage mit auf der Brust überkreuzten Armen eingenommen. Dann wurde der Rumpf  $45^\circ$  von der Unterlage abgehoben, wobei die Beine an den Füßen an der Unterlage fixiert wurden. In dieser Position haben wir die Haltedauer gegen die Schwerkraft in Sekunden gemessen (bis 60 Sekunden), wobei der Test abgebrochen wurde, wenn die

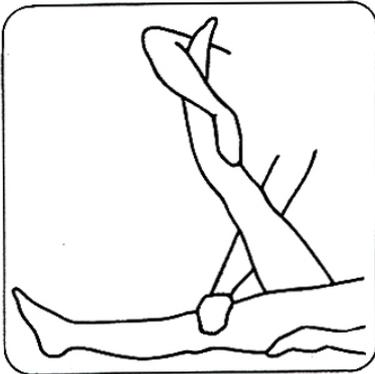


Position in  $45^\circ$  Flexion nicht mehr gehalten werden konnte. In diesem Fall haben wir die Zeit dokumentiert, nach welcher der Test abgebrochen werden musste.

Abb. 2 Kraftprüfung der Bauchmuskulatur (Salminen 1984)

- Isometrische Kraftprüfung der autochtonen Rückenmuskulatur: Der Proband hat die Ausgangsstellung in Bauchlagenüberhang auf der Untersuchungsliege eingenommen. Geprüft wurde die Haltedauer des Rumpfes mit auf der Brust überkreuzten Armen in der Horizontalen. Die Beine waren während der Untersuchung auf der Untersuchungsliege fixiert. Wir haben wiederum die Haltedauer gegen die Schwerkraft gemessen (bis 60 Sekunden) und den Test abgebrochen, wenn die Position in der Horizontalen nicht mehr gehalten werden konnte. Auch dieser Test wurde zeitlich dokumentiert.

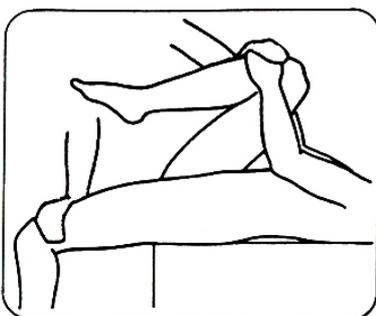
- Prüfung der Muskellänge der ischiocruralen Muskulatur: Die Ausgangsstellung wurde in Rückenlage mit gestreckten Beinen auf der Untersuchungsfläche eingenommen. Erst wurde das eine, dann das andere Bein maximal in der Hüfte flektiert, wobei das kontralaterale Bein jeweils auf der Liege fixiert wurde. Die Flexion wurde durchgeführt, bis der Proband im Kniegelenk



flektiert und/oder im Becken extendiert hat. Eine Muskelverkürzung lag vor, wenn eine Hüftflexion über  $75^\circ$  bei korrekt durchgeführtem Test nicht möglich war.

Abb. 3 Prüfung der Länge der ischiocruralen Muskulatur (Salminen 1984)

- Prüfung der Muskellänge der Hüftflexoren: Der Schüler hat die Ausgangsstellung in Rückenlage auf einer Untersuchungsfläche mit maximal flektierten Hüft- und Kniegelenken eingenommen, wobei das Gesäß mit dem Ende der Liege abgeschlossen hat, und das nicht untersuchte Bein auf der Brust fixiert wurde. Dadurch war gewährleistet, dass es zu keiner Hyperextension in der LWS kommt. Das zu untersuchende Bein wurde unter Führung in der Hüfte extendiert, bis der Oberschenkel annähernd in der Horizontalen zu liegen kam. Hat die Stellung des Oberschenkels die Horizontale nicht erreicht, lag eine Muskelverkürzung vor. Hat die Hüftextension über die Horizontale hinausgereicht,



war die Muskulatur ausreichend dehnbar. Die Testung wurde bei beiden Beinen vergleichsweise durchgeführt.

Abb. 4 Prüfung der Länge der Hüftflexoren (Salminen 1984)

Zum Schluss der klinisch-orthopädischen Untersuchung wurden von jedem Schüler die Größe und das Gewicht bestimmt. Für unsere Studie haben wir das Gewicht auf ein kg und die Größe auf einen cm genau gemessen, und den Body Mass Index mit der standardisierten Formel „Gewicht in kg geteilt durch Größe in m zum Quadrat“ ( $\text{kg/m}^2$ ) berechnet.

### **2.2.3. Bestimmung der Wirbelsäulenform und –beweglichkeit mittels Zebris 3D-Bewegungsanalyse**

#### **Bestimmung der Wirbelsäulenform**

Willner (1981) untersuchte die Übereinstimmung der am Röntgenbild messbaren Kyphose mit einem Oberflächenmessverfahren, der spinalen Pantographie, wobei bei der radiologischen Vermessung der nach dorsal offene Winkel zwischen Th1 und Th12 bestimmt wurde und bei dem Oberflächenmessverfahren die Tangenten bei Th1 bzw. Th12. Die mit Hilfe der Tangenten gemessenen Winkel zeigten eine hohe Übereinstimmung mit den am Röntgenbild gemessenen Winkeln. In der vorliegenden Studie haben wir die Wirbelsäulenform mit dem 3D-Analysegerät von der Firma Zebris bestimmt.

#### **Messprinzip:**

Die Messsysteme beinhalten Markierungspunkte, die aus kleinen sequentiell betriebenen Ultraschallsendern bestehen. Der zugehörige Messaufnehmer besteht aus drei in definiertem Abstand angeordneten Ultraschallmikrofonen mit zugehöriger Auswerteelektronik. In Betrieb werden von den Ultraschallsendern fortlaufend Impulse abgegeben, die Entfernung zu den Mikrofonen wird durch Laufzeitmessung bestimmt und die absoluten Raumkoordinaten durch Triangulation berechnet.

## 2. Probanden und Methoden

---

Die Messung erfolgt mittels Oberflächenabtaststift und dem Messprogramm Winspace. Der Taststift beinhaltet zwei Ultraschallmarker, deren Zentrum eine gerade Linie zur Tastspitze ergibt. Hieraus kann das Programm immer die genaue Position der Tastspitze errechnen. Zum Messen wird zunächst ein Referenzdreifachmarker mit einem Klettband am Körper des Patienten bzw. Probanden befestigt, und zwar seitlich so tief, dass beim Abtasten der Dornfortsätze keine Behinderung auftritt und dieser durch die Hand oder den Abtaststift nicht verdeckt wird. Der Referenzdreifachmarker dient dazu, während der Taststiftmessung auftretende Körperschwankungen zu eliminieren. Wir haben den Marker 2 Querfinger unterhalb der Verbindungslinie zwischen den beiden spinae iliacae posteriores superiores angebracht.

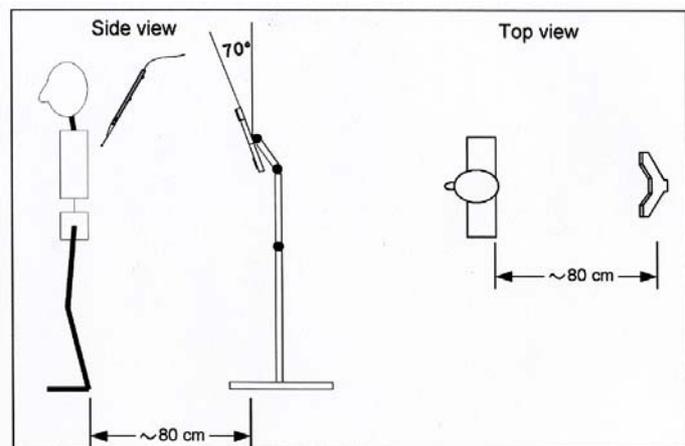


Abb. 5 Aufbau des Messsystems  
(Zebis Medizintechnik GmbH)

Bei der Formbestimmung der Wirbelsäule gibt man zunächst zwei Schulterpunkte (Acromion links und rechts) und anschließend vier Beckenpunkte (Spinae iliacae posteriores superiores und anteriores superiores) ein. Danach wird die Dornfortsatzlinie von C7 bis S3 mit der Spitze des Taststiftes abgetastet. Durch die Punkte der beiden Spinae iliacae posteriores superiores und dem eingegebenen ersten Punkt C7 der Dornfortsatzlinie wird eine virtuelle Ebene aufgespannt, zu der eine weitere Ebene senkrecht steht.

Diese Ebenen bilden die Projektionsflächen der berechneten Winkel entlang der Dornfortsatzlinie. Zur Erhöhung der Messsicherheit sollte das Abtasten der Dornfortsätze noch zwei mal wiederholt werden, wobei der Computer die Ergebnisse mittelt. Als nächstes wird der Übergang zwischen Brust- und Lendenwirbelsäule definiert, indem ein Punkt zwischen Th12 und L1 angetastet wird. Um Informationen über die Verdrehung des Rückens zu erhalten, muss jeweils rechts und links ein Punkt vom Schulterblatt (Angulus inferior spinae scapulae) eingegeben werden. Das Programm gibt dann die Höhendifferenz des rechten und linken Scapulapunktes im Report an und berechnet die Höhe der Scapula senkrecht zu der zwischen C7 und den beiden Spinae iliacae post. sup. definierten Referenzebene.

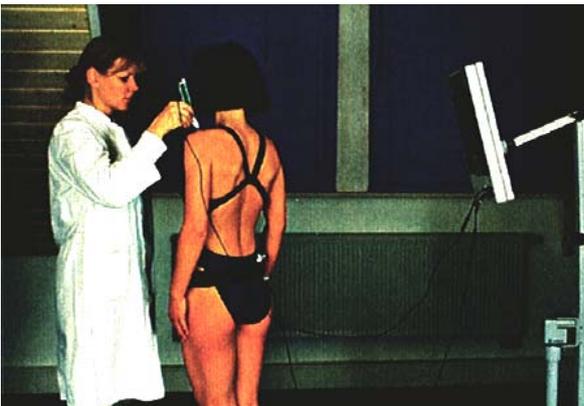
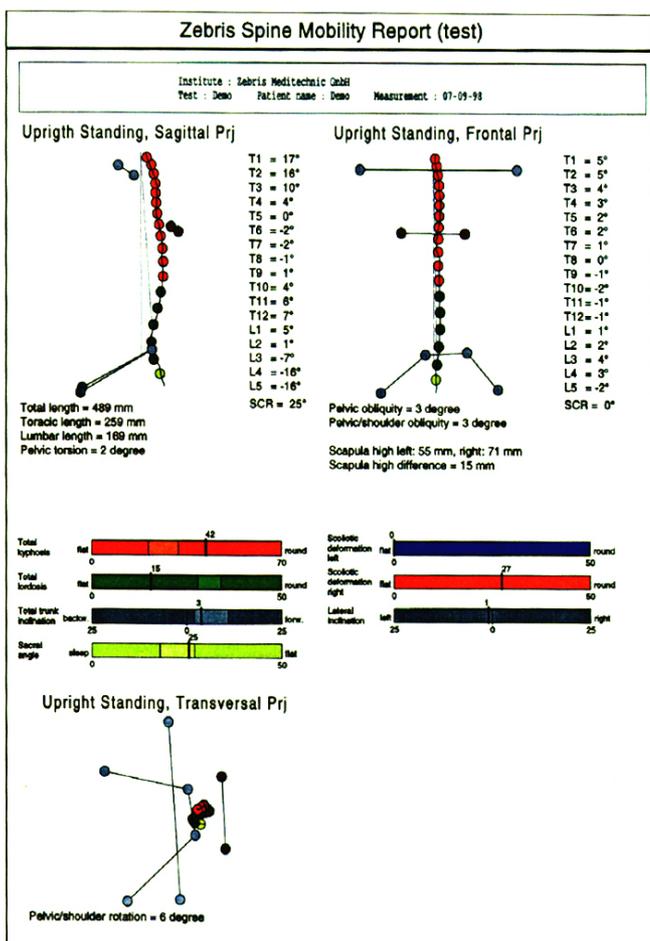


Abb. 6 und 7 Formbestimmung der Wirbelsäule (Zebris Medizintechnik GmbH)

Nun besteht die Möglichkeit, dem System weitere Zusatzpunkte einzugeben. In der vorliegenden Studie haben wir als Zusatzpunkte sog. Rotationspunkte verwendet, für dessen Eingabe die beiden Schulterpunkte bei nach links bzw. rechts gedrehtem Oberkörper und fixiertem Becken abgetastet wurden.

## 2. Probanden und Methoden

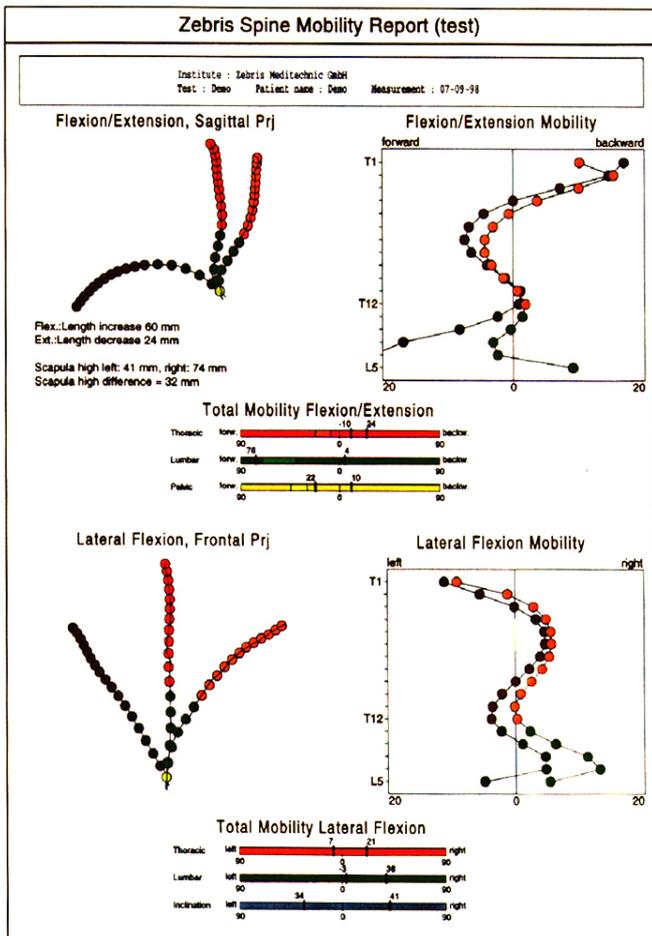
Der Report der beschriebenen Untersuchung zeigt die Linie der Dornfortsätze in sagittaler, frontaler und transversaler Projektion (Abb. 8). Dabei ist die Dornfortsatzlinie automatisch in die Anzahl der Wirbelkörper unterteilt. Zur Projektion in der Sagittalebene wird die Gesamtlänge der Wirbelsäule in mm angegeben, und die Verdrehung des Beckens, die gesamte Körpervor- bzw. -rückneigung sowie der Sakralwinkel in Grad angezeigt. Aus den Gesamtwinkeln der angelegten Tangenten bilden sich die Kyphose der Brustwirbelsäule und die Lordose der Lendenwirbelsäule.



Die Berechnung erfolgt dabei durch Aufsummierung der Einzelwinkel. In der frontalen Projektion wird sowohl der Beckenstand zur Fußbodenebene als auch die Schulter-Becken-Stellung in Grad angegeben. Balkendiagramme stellen den Winkel der Seitabweichung der Dornfortsätze links und rechts einer Verbindungslinie von C7 nach L5 sowie den Winkel der Seitneigung dar. Zusätzlich rechnet das Programm die Höhe des linken und rechten Scapulapunktes bezüglich der Referenzebene und ihre Höhendifferenz aus. In der transversalen Projektion ist die Becken-Schulter-Drehung angegeben.

Abb. 8 Report der Formbestimmung der Wirbelsäule (Zebri Medizintechnik GmbH)

## 2. Probanden und Methoden



Durch eine weitere Untersuchung mit dem Taststift kann die Beweglichkeit der WS bzw. des Rumpfes in Flexion, Extension und Lateralflexion bestimmt werden. Dabei ist eine segmentale Auflösung der Beweglichkeit jedoch nicht möglich; vielmehr können bewegliche von unbeweglichen Bereichen abgegrenzt werden. Bei dieser Untersuchung wird zunächst in maximaler Anteflexion die Dornfortsatzreihe mit dem Taststift abgefahren, dann gibt man den Punkt zwischen Th12 und L1 und anschließend die beiden Scapulapunkte ein.

Abb. 9 Report der Beweglichkeitsanalyse der Wirbelsäule (Zebri Medizintechnik GmbH)

Als nächstes wird die Abtastung der Wirbelsäule in maximaler Extension und zum Schluss in maximaler Lateralflexion (links/rechts) durchgeführt. Die Auswertung dieses Teils der Untersuchung zeigt die Linie der Dornfortsätze in sagittaler und frontaler Projektion sowohl in Grundstellung als auch in maximaler Vor-, Rück- und Seitbeuge.

In sogenannten Mobilitätsdiagrammen wird die Beweglichkeit entlang der Wirbelsäule aufgeteilt, und Balkendiagramme zeigen die Gesamtbeweglichkeit der Brust- und Lendenwirbelsäule sowie des Beckens in der entsprechenden Bewegungsrichtung auf. Zusätzlich gibt das Programm die gesamte Vor-, Rück- und Seitbeugebewegung des Oberkörpers als Neigungswinkel ("Inclination") einer gedachten Verbindungslinie von C7 durch L5 an.

Der Einfluss der gewählten Messposition auf das Ausmaß von Flexion, Extension und Lateralflexion wurde 1991 von Mellin et al untersucht. Dafür haben sie die Flexion in aufrechtem Stand und im Sitzen, sowie die Extension in aufrechtem Stand und in Bauchlage (sog. Kobraposition) gemessen. Die Lateralflexion haben sie getestet, indem der Proband sich zunächst frei bewegen durfte und indem danach die Bewegung vor einer Wand durchgeführt wurde, was Abweichbewegungen nach vorne verhindert hat. Die verschiedenen Positionen haben keine signifikant unterschiedlichen Bewegungsausmaße ergeben. Die Autoren empfehlen daher, diejenige Position zu wählen, die für den Probanden bzw. Patienten am bequemsten ist und in der das Messinstrument vom Untersucher am leichtesten bedient und gelesen werden kann. Die von uns gewählte Position in aufrechtem Stand mit schulterbreit stehenden Beinen und auf dem Sternum überkreuzten Händen hat sich für reproduzierbar und bequem erwiesen.

Wie Stagnara et al (1982) festgestellt haben, beeinflusst die Positionierung der Arme das Ausmaß der Lordose. Deshalb ist es wichtig, eine einheitliche Untersuchungsposition festzulegen, um vergleichende Untersuchungen zu ermöglichen und zu rechtfertigen.

Für die Untersuchung haben wir eine einheitliche Ausgangsstellung gewählt, in der die Schüler vor dem Messaufnehmer standen: Die Beine standen beckenbreit auseinander, und die Hände waren auf der Brust überkreuzt, indem sie übereinander auf das Sternum gelegt wurden. Diese Position war für die Schüler bequem und konnte während der gesamten Untersuchung gut eingehalten werden. Die Messung hat pro Schüler etwa 10 Minuten gedauert.

### **3D-Bewegungsanalyse der Wirbelsäule**

Mit Hilfe des „Triple Lumbar“-Bewegungsanalyse-Programms von Zebris konnten wir erstmalig die Beweglichkeit der Wirbelsäule im Kindes- und Jugendalter bestimmen. In dieser Studie haben wir uns auf die Beweglichkeit der LWS beschränkt. Die Untersuchung hat ermöglicht, Informationen über alle Freiheitsgrade der Beweglichkeit, das Bewegungsverhalten sowie eine Analyse von Ausweich- bzw. gekoppelten Bewegungen der Lendenwirbelsäule zu erhalten.

### **Messprinzip:**

Das Messprinzip basiert auf der Laufzeitmessung von Ultraschallimpulsen. Echtzeitmessungen von Bewegungen im vorgegebenen Wirbelsäulenabschnitt werden in Flexion, Extension, Lateralflexion und Rotation, jeweils in Graden gemessen, dokumentiert. Das Bewegungsausmaß wird in Form einer Sinuskurve am Computer aufgezeichnet. Zur Untersuchung der Lendenwirbelsäule werden zwei spezielle Dreifachmarker mit elastischen Klettbindern befestigt. In der vorliegenden Studie wurde der obere Marker 2 Querfinger unterhalb der Mamillen, und der untere 2 Querfinger unterhalb der Verbindungslinie zwischen den beiden Spinae iliacae posteriores superiores angebracht.

Zur Durchführung der Messung haben die Schüler sich wiederum mit auf der Brust überkreuzten Händen und beckenbreit stehenden Beinen hingestellt, diesmal jedoch in einem Winkel von  $45^\circ$  zum Messaufnehmer.

Die erste zu messende Bewegung ist die Vor- und Rückbeuge. Der Patient bzw. Proband führt die entsprechenden Bewegungen mit gleichmäßiger Geschwindigkeit jeweils bis zum Bewegungsmaximum durch. Die Bewegung wird so lange wiederholt, bis auf dem Computer eine gleichmäßige Sinuskurve zu erkennen ist, in der Regel ist dies nach 6-7 Wiederholungen der Fall. Als nächstes wird die Rotationsbewegung getestet. Hierzu soll der Oberkörper bis zum Bewegungsmaximum nach beiden Seiten gedreht werden, wobei das Becken fixiert wird, damit der Proband sich nicht aus dem Messbereich herausdreht. Die letzte zu untersuchende Bewegung ist die Seitbeuge, die auch wieder bis zum Bewegungsmaximum auf beide Seiten durchgeführt wird. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass der Proband die Knie gestreckt lässt und sich möglichst auf einer Linie bewegt. Im Report der Untersuchung werden die Messwerte der maximalen Mobilität (Range of motion) zusammen mit veränderbaren Normwerten als Balkendiagramme dargestellt. Der vom System errechnete Mobilitätswert entsteht aus den Maximalwerten der aufgezeichneten Sinuskurven.

Die Darstellung der Mobilität gibt allein jedoch nicht genügend Auskunft über das Bewegungsverhalten, da eine ausreichende Beweglichkeit beispielsweise auch über Ausweichbewegungen erreicht werden kann. Des Weiteren kann der Bewegungsablauf selbst gestört sein. Zur Darstellung des Bewegungsablaufs und von Ausweichbewegungen werden im Report Phasendiagramme gezeichnet, bei denen die Winkelgeschwindigkeit gegen die Bewegungswinkel aufgetragen wird. Jede durchgeführte Hauptbewegung ergibt ein eigenes Phasendiagramm.

Aus der Kurvenform dieser Phasendiagramme lassen sich die Bewegungscharakteristika ableiten und das Ausmaß an Begleitbewegungen erkennen: Verläuft eine Bewegung harmonisch, so stellen die Kurvenformen annähernd eine Kreisform dar. Da jeder Quadrant des Diagramms eine Bewegungsphase darstellt, kann dadurch genau angegeben werden, wo Bewegungsstörungen aufgetreten sind. Bei der Seitbeuge wird zusätzlich zum Phasendiagramm eine Winkelkurve der Seit- und Beckenrotationsbewegung über die Zeit dargestellt. Außerdem kann die Beziehung zwischen der Flexions-/Extensionsbewegung und der Rotation der gesamten Wirbelsäule abgelesen werden. Die Beweglichkeitsprüfung der Wirbelsäule hat mit diesem Verfahren pro Schüler zwischen 5 und 10 Minuten gedauert.

### **2.3 STUDIENDESIGN**

Bei der vorliegenden Studie zur Erhebung der Daten für Wirbelsäulenform und -beweglichkeit handelt es sich um einen Teil einer prospektiven Querschnittsuntersuchung zur Erfassung der Prävalenz, anthropomorphometrischen Charakteristika und psychosozialen Einflussfaktoren von Kreuzschmerzen im Kindes- und Jugendalter. Die Studie wurde am 11.3.1999 in der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität Innsbruck behandelt und nach Klärung versicherungsrechtlicher Angelegenheiten und versicherungstechnischer Fragen am 17.3.1999 für unbedenklich erklärt.

Zum Zeitpunkt T1 der Untersuchung (März 1999 – Dezember 1999) haben wir anhand des Schmerzfragebogens PQ (Söllner & Kopfsguter 1995, Balagué 1995) die Prävalenz von Kreuzschmerzen und sonstigen Schmerzen mit Schmerzcharakteristika und –lokalisierung, die Prävalenz chronischer Schmerzen bei Eltern und Geschwistern sowie die sportliche Aktivität der Schüler erfasst. Mit der oben beschriebenen Ultraschall-Messmethode haben wir die anthropomorphometrischen Normdaten erhoben.

Die Schüler haben außerdem einen Fragebogen zur Einschätzung der aktuellen Befindlichkeit ausgefüllt. Dieser wurde aus verschiedenen standardisierten Fragebögen zusammengestellt: dem CDI Children`s Depression Inventory (Kovacs 1983, deutsche Version: Stiensmeier-Pelster J, Schürmann M, Duda K 1991), dem CDS Children Depression Scale (Tisher & Lang 1983) und der Child Behaviour Checklist (Achenbach & Edelbrock 1983).

In unserem Fragebogen war zusätzlich die Kurzform des Giessener Beschwerdebogens für Kinder und Jugendliche (GKB-KJ-24 (Brähler & Scheer 1992)) enthalten, um eine Somatisierungsneigung zu erfassen. Ein von einer Diplom-Psychologin durchgeführtes, gekürztes und Schulkindern angepasstes Pain-prone-Interview (Söllner et al. 1993) hat der Erhebung des Familienklimas gedient. An die durchgeführte Querschnittuntersuchung soll sich eine Längsschnittuntersuchung anschließen. Zum Zeitpunkt T2 (ein Jahr nach Erstuntersuchung) sollen drei Gruppen nachuntersucht werden:

a) Schüler mit rezidivierenden oder chronischen Kreuzschmerzen [chronic low back pain CLBP; zu erwartende Prävalenz aus früheren Studien: 7-10% (Salminen et al. 1992, Balagué et al 1994)]

b) Schüler mit Risikofaktoren (RF) und ohne CLBP (hinsichtlich Alter, Geschlecht und Schultyp mit der Gruppe a parallelisiert)

c) Kontrollgruppe von Schülern ohne RF und ohne CLBP (hinsichtlich Alter, Geschlecht und Schultyp mit der Gruppe a parallelisiert)

Zum Zeitpunkt T3 (drei Jahre nach Erstuntersuchung) soll eine Follow-up-Untersuchung folgen, bei der dieselben Stichproben wie zum Zeitpunkt T2 untersucht werden. Das Instrumentarium der Folgeuntersuchungen ist das gleiche wie bei der Erstuntersuchung, es besteht also aus den Teilen Orthopädische Anamnese und Untersuchung, Schmerzfragebogen PQ, Giessener Beschwerdebogen, CDI oder CDS sowie Pain-prone-Interview.

## 2.4 STATISTIK

Die Untersuchung wurde im Rahmen eines Clusterstichprobenverfahrens (einfache Zufallsstichprobe) als Horizontalstudie durchgeführt, wodurch sich ein für Tirol repräsentativer Querschnitt ergeben hat. Als Hauptmesskriterium wurden Kreuzschmerzen im letzten Jahr und als Einflussmesskriterium die Beweglichkeit der LWS in allen drei Ebenen definiert. Risikofaktoren für chronische Kreuzschmerzen wurden im Studiendesign berücksichtigt.

### **2.4.1. Fallzahlbestimmung für 3D-Bewegungsanalyse und Formbestimmung der Wirbelsäule**

Die Fallzahlbestimmung wurde nach einem two-sample-Prinzip durchgeführt, d.h. dass 2 Gruppen miteinander verglichen wurden und die Fallzahl nach der statistisch signifikanten Berechnung  $n \text{ (Anzahl)} = [(1,96 * \text{Standardabweichung (10)} / \text{Mittelwertabweichung (2,5}^\circ)]^2$  bestimmt wurde. Aus diesem Grund ergaben sich je Altersgruppe 140 Untersuchungen, 70 Mädchen und 70 Jungen, sowie ein Gesamtkollektiv von 1540 Schülern, um eine statistisch signifikante Aussage zu erzielen. Untersucht wurden letztendlich 1506 Schüler zwischen 8 und 18 Jahren, da die Altersklassen der 8- und 18-jährigen aus organisatorischen Gründen (Matura zum Zeitpunkt der Untersuchungen, kleine Volksschulklassen) kleiner ausfielen als die anderen Altersklassen.

### **2.4.2. Auswertung der Parameter für Wirbelsäulenform und -beweglichkeit**

Um eine Aussage darüber treffen zu können, ob es sich bei den erhobenen Daten um normalverteilte Variablen handelt, haben wir die Parameter mit dem SAS-Statistikprogramm nach Wilk Shapiro analysiert. Bei normalverteilten Variablen lag der Wert  $Pr < W$  über 0.05, und es konnte mit Mittelwert und Standardabweichung (s) weitergearbeitet werden. Lag der Wert unter 0.05, war die Variable nicht normalverteilt, sodass der Median, das erste und dritte Quartil (Q1 und Q3) sowie die 5. und 95. Perzentile zur Analyse der Parameter herangezogen wurden. Zusätzlich haben wir eine ANOVA (Analysis of Variance) durchgeführt (Procedure GLM im SAS-Statistikprogramm), um die Alters- und Geschlechtsabhängigkeit der einzelnen Parameter bestimmen zu können. Die Daten sind im Anhang tabellarisch aufgelistet. Zur besseren Übersicht sind die wichtigsten Mittelwerte bzw. Mediane zusätzlich in Diagrammen dargestellt.

Für die thorakale Kyphose und die lumbale Lordose haben wir zudem für jede Altersklasse und beide Geschlechter Häufigkeitsverteilungen in Form von Balkendiagrammen ausgearbeitet.

### **3. ERGEBNISSE**

#### **3.1. GRÖÖE UND GEWICHT**

Wie aus den Tab. 1 - 4 ersichtlich ist, waren 8-jährige Mädchen durchschnittlich 131 cm groß und 28 kg schwer, und gleichaltrige Jungen 133 cm groß und 29 kg schwer. Die Körpergröße nahm bei den Mädchen bis zu einem Alter von 15 Jahren zu - ab dieser Altersklasse waren die Schülerinnen durchschnittlich 167 cm groß. Das mittlere Gewicht war bei den 18-jährigen Schülerinnen mit 59 kg am größten. Bei den untersuchten Jungen nahm die Körpergröße bis zum Alter von 18 Jahren zu - die 18-Jährigen waren mit durchschnittlich 181 cm und 70 kg die größten und schwersten.

#### **3.2. KLINISCHE INSPEKTION**

Ein wesentlicher Teil der orthopädischen Untersuchung war die Inspektion der Wirbelsäule. Dabei haben wir nur bei einem 14-jährigen Mädchen einen Rundrücken und bei einem 18-jährigen Jungen eine Skoliose diagnostiziert, alle anderen Schüler waren unauffällig. Leichte Abweichungen der Wirbelsäule aus dem Lot oder ein geringgradiger Taillendreiecksunterschied oder Rippenbuckel wurden nicht als pathologisch bewertet. Die Häufigkeit von Beinlängendifferenzen (BLD) mit Seitenangabe des längeren Beines sowie von Beinachsenfehlstellungen sind mit Prozentangaben in Tab. 5 und 6 aufgelistet. Daraus ist zu ersehen, dass Beinlängendifferenzen am häufigsten bei 13-15-jährigen Mädchen sowie bei 13-18-jährigen Jungen vorkamen und dass häufiger das linke Bein länger war als das rechte. Jungen hatten häufiger Beinlängendifferenzen als Mädchen.

Eine Varusstellung, Rekurvation oder Beugekontraktur lag bei keinem der Untersuchten, eine Valgusstellung am häufigsten bei den jüngeren Kindern zwischen 8 und 10 Jahren vor. Bei den Muskelfunktionsprüfungen war die ischiocrurale Muskulatur häufiger verkürzt als der M. iliopsoas (Tab. 7 und 8). Hiervon waren Jungen häufiger betroffen als Mädchen, und zwar vor allem Jungen im Alter von 13-16 Jahren. Von den Mädchen waren am häufigsten die 14-16-Jährigen verkürzt, wobei über 50% normal dehnfähige Muskeln hatten. Bei der Kraftprüfung von Bauch- und Rückenmuskulatur war die Bauchmuskulatur häufiger abgeschwächt als die Rückenmuskulatur. Mädchen hatten häufiger abgeschwächte Muskeln als Jungen. Bei den Mädchen gab es zwischen den einzelnen Altersklassen keine wesentlichen Unterschiede, während Jungen mit zunehmendem Alter die Kraftprüfung für die Bauch- und Rückenmuskulatur besser meisterten.

### **3.3 UNTERSUCHUNG DER WIRBELSÄULENFORM**

Wir haben die Form der Wirbelsäule mit dem Programm Pointer Mobility untersucht. Zunächst wurde dafür die Wirbelsäulenlänge von C7 bis S1 bestimmt; die Alters- und Geschlechtsverteilung ist aus den Tab. 11 und 12 zu ersehen. Bei beiden Geschlechtern wurden die kürzesten Wirbelsäulen bei 8-Jährigen und die längsten bei 18-Jährigen gemessen. Bei Mädchen nahm die Wirbelsäule ab dem Alter von 15 Jahren jedoch nur noch geringfügig an Länge zu.

Die individuelle Streuung bei der Brustkyphose war sehr groß (Tab. 13 und 14). Ca. 60 Prozent der thorakalen Kyphosen lagen zwischen  $20^\circ$  und  $40^\circ$ . Die thorakale Kyphose war bei Mädchen etwas, jedoch nicht signifikant stärker ausgeprägt als bei Jungen. Die Altersklassen mit den höchsten Kyphosewerten waren 10-11- und 13-14-jährige Mädchen mit durchschnittlich  $39^\circ$  sowie 10- und 18-jährige Jungen mit durchschnittlich  $36^\circ$ . Es war keine altersabhängige Zu- oder Abnahme der Brustkyphose erkennbar.

Die Lendenlordose war bei Jungen signifikant altersabhängig - die lumbale Lordose wurde mit zunehmendem Alter kontinuierlich flacher und betrug bei 18-jährigen Jungen nur noch  $19^\circ$  ( $34^\circ$  bei 8-jährigen Jungen). Bis auf die Altersklasse der 8-Jährigen war die Lendenlordose bei den Mädchen um durchschnittlich  $5^\circ$  stärker ausgeprägt als bei den Jungen. Bei der Bestimmung der Beckenkippung (Sakrumwinkel SCR) ist wie bei der Lendenlordose ein signifikante Alters- und Geschlechtsabhängigkeit aufgefallen: Der Winkel des Sakrums war bei Mädchen in allen Altersgruppen größer als bei Jungen und änderte sich mit zunehmendem Alter kaum. Bei Jungen war der SCR bei den 8- und 9-Jährigen mit  $22^\circ$  am größten, während der Winkel im Alter von 16 bis 18 Jahren nur noch  $13^\circ$  betrug.

Weitere Formparameter, welche die Untersuchung mittels Pointer Mobility ergeben hat, beschreiben eine Verdrehung oder einen Schiefstand der Schultern gegenüber dem Becken (Pelvic-Shoulder-Rotation und -Obliquity), eine Verdrehung des Beckens an sich (Pelvic Torsion) sowie einen Beckenschiefstand gegenüber dem Fußboden (Pelvic Obliquity). Die gemessenen Werte sind nach Alter und Geschlecht sortiert aus den Tab. 19 bis 26 zu erfassen. Diese Werte waren alters- und geschlechtsunabhängig relativ einheitlich.

### **3.4. UNTERSUCHUNG DER WIRBELSÄULENBEGWEGLICHKEIT**

Die Beweglichkeit der Wirbelsäule wurde einerseits mit dem Taststift (Pointer Mobility) und andererseits mit dem Programm Triple Lumbar untersucht. Bei der Taststiftuntersuchung wird die Längenzunahme der Wirbelsäule in mm angegeben und die Wirbelsäulenbeweglichkeit in die Beweglichkeit der Brustwirbelsäule (Thoracal Flexion und Extension sowie Thoracal rechts und links), die Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule (Lumbar Flexion und Extension sowie Lumbar rechts und links) und die Beckenbeweglichkeit (Pelvic Flexion und Extension) unterteilt. Die Untersuchung kann durch die Triple Lumbar –Messung ergänzt werden, die zusätzlich eine gesonderte Analyse der Lendenwirbelsäulenbeweglichkeit ermöglicht. Diese Messung gibt zusätzlich zum Ausmaß der Lumbarflexion auch Auskunft über die Rotation und Lateralflexion nach rechts und links sowie über die Beckenbeteiligung an der Gesamtflexion und –extension (Pelvic Tilt vor und zurück). Der mit dem Taststift gemessene Längenzuwachs der Wirbelsäule in Flexion war bei beiden Geschlechtern ähnlich: Maximal war er bei 14-jährigen Jungen (Längenzunahme um durchschnittlich 128 mm) und bei 15-jährigen Mädchen (127 mm). Bei jüngeren und älteren Schülern dehnte sich die Wirbelsäule in Flexion weniger aus. Die Taststiftuntersuchung der Brustwirbelsäulenbeweglichkeit ergab für Mädchen eine mittlere Flexion von 20° und für Jungen von 24°. Bei beiden Geschlechtern war die Beweglichkeit altersunabhängig relativ einheitlich – bei den Mädchen gab es maximal Unterschiede von 7° und bei den Jungen von 5° zwischen den einzelnen Altersklassen. Die Extension der BWS war dagegen individuell sehr unterschiedlich. So haben wir bei Mädchen Werte zwischen 1° und 12° und bei Jungen zwischen 2° und 12° gemessen. In der Seitbeuge der BWS waren Jungen zu beiden Seiten beweglicher als Mädchen (Tab. 35-38).

Die Lendenwirbelsäulenbeweglichkeit wurde wie erwähnt mit zwei Methoden untersucht. Die mit dem Taststift gemessene Flexion war bei beiden Geschlechtern etwa 20° kleiner als die mit dem Programm Triple Lumbar ermittelte Flexion. Mit beiden Methoden war eine signifikante Altersabhängigkeit der Flexion erkennbar ( $p=0.0001$ ). Am beweglichsten waren die 9-10-Jährigen (65° Flexion bei der Taststiftuntersuchung und 89° bei Triple Lumbar), am wenigsten beweglich die 18-Jährigen (54° und 76° bei den Jungen und 56° und 71° bei den Mädchen). Die Beweglichkeit nahm von Altersgruppe zu Altersgruppe stetig ab. Jungen waren mit Ausnahme der 16-18-Jährigen mit beiden Untersuchungsverfahren beweglicher als gleichaltrige Mädchen. Die lumbale Extension wurde ebenfalls mit beiden Messmethoden bestimmt. Bei der Taststiftuntersuchung war die durchschnittliche Extension 10-15° kleiner als bei der Triple Lumbar –Untersuchung. Mädchen waren beweglicher als Jungen.

Im Gegensatz zur Flexion war die Extension nicht altersabhängig: Am beweglichsten waren bei der Taststiftuntersuchung 8-jährige Mädchen (26° Extension) und 10-jährige Jungen (17°), bei der Triple Lumbar –Untersuchung 15- und 18-jährige Mädchen (33° Extension) und 17-jährige Jungen (31°). Die Beckenbeweglichkeit wird durch die Parameter „Pelvic Flexion und Extension“ (Pointer Mobility) und „Pelvic Tilt vor und zurück“ (Triple Lumbar) beschrieben. Die Flexion bzw. das „Pelvic Tilt vor“ war signifikant alters- und geschlechtsabhängig ( $p=0.001$ ): Mädchen waren im Becken in allen Altersklassen beweglicher als Jungen, und die Beckenbeweglichkeit nahm bei beiden Geschlechtern mit dem Alter von 8 bis 18 Jahren stetig zu (Tab. 63-66).

Beim Vergleich der Messergebnisse der beiden Untersuchungstechniken fällt auf, dass auch für die Beckenbeweglichkeit mit Triple Lumbar größere Werte gemessen wurden als mit Pointer Mobility. Der Unterschied war jedoch sehr uneinheitlich (bei manchen Altersklassen nur  $4^\circ$ , bei anderen  $13^\circ$ ). Bei der Extension im Becken (Pelvic Extension bzw. Pelvic Tilt zurück) waren Jungen mit beiden Messverfahren  $3-5^\circ$  beweglicher als Mädchen. Am beweglichsten waren bei beiden Geschlechtern die 13-15-Jährigen. Die alters- oder geschlechtsabhängigen Unterschiede waren jedoch nicht signifikant.

Zusätzlich zur Flexion und Extension haben wir die Rotation und Lateralflexion der LWS gemessen. Die Lateralflexion wurde mit beiden oben genannten Messmethoden bestimmt. Die Lateralflexion betrug mit dem Taststift alters- und geschlechtsunabhängig  $14-26^\circ$  und mit Triple Lumbar  $40-46^\circ$ . Mit dem Taststift war die Seitbeuge nach rechts durchschnittlich größer als nach links. Mit dem Programm Triple Lumbar war keine Seitendifferenz erkennbar. Mit Triple Lumbar wurde außer der Lateralflexion noch die Rotation zu beiden Seiten gemessen. Die Untersuchung erfolgte, indem das Becken des Probanden fixiert wurde, um Begleitbewegungen zu eliminieren. Es war eine Seitendifferenz der Beweglichkeit erkennbar: Sowohl Jungen als auch Mädchen drehten nach rechts mehr als nach links. Am beweglichsten waren in beiden Geschlechtergruppen die 14-15-jährigen Schüler, am wenigsten beweglich die 10-11-jährigen Jungen und 16-18-jährigen Mädchen.

### **3.5 EINFLUSS VON MUSKULÄREN VERKÜRZUNGEN ODER SCHWÄCHEN AUF DIE WIRBELSÄULENFORM UND – BEWEGLICHKEIT**

Zusätzlich zu den erhobenen Form- und Beweglichkeitsparametern hat uns interessiert, ob ein Zusammenhang zwischen muskulären Verkürzungen und der LWS- bzw. Beckenbeweglichkeit besteht. Unsere Untersuchungen haben eine signifikante Assoziation ( $p=0.0001$ ) zwischen verkürzter ischiocruraler Muskulatur und Beckenbeweglichkeit (Pelvic Flexion und Pelvic Tilt vor) sowie zwischen verkürztem Iliopsoas und Beckenbeweglichkeit ergeben. Zwischen der Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule und dem Dehnungszustand der Muskulatur bestand keine Assoziation. Wir haben außerdem untersucht, ob sich muskuläre Schwächen der Bauch- oder Rückenmuskulatur auf die thorakale Kyphose und / oder lumbale Lordose auswirken. Zwischen diesen Parametern konnte kein Zusammenhang festgestellt werden.

## **4. DISKUSSION**

### **4.1. DISKUSSION VON MATERIAL UND METHODEN**

#### **4.1.1 Probandenauswahl**

Aufgrund der Annahme einer großen Zahl von Haltungsfehlern im Kindes- und Jugendalter (Breitenfelder 1955, Jentschura 1955, Matthiass 1966, Neugebauer 1976, Schede 1935, Thomsen 1955) hat es in den vergangenen Jahren mehrere Versuche gegeben, Parameter für die Form und Beweglichkeit der kindlichen Wirbelsäule objektiv zu erheben (Willner et al 1981, Propst-Proctor und Bleck 1983, Haley et al 1986, Bernhardt und Bridwell 1989, Mellin et al 1988 und 1992, Duff und Draper 1987, Carr et al 1991, Salminen 1984). Bei diesen Studien sind jedoch relativ kleine Kollektive und teilweise nur bestimmte Altersklassen (Haley et al 1986, Mellin et al 1988) untersucht worden, sodass eine Aufstellung von Normbereichen für die Wirbelsäulenform und –beweglichkeit bisher nur unzureichend erfolgen konnte. Willner (1983) hat mittels Pantographie ein Kollektiv von 1101 8- bis 16-jährigen Mädchen und Jungen untersucht, sich bei seinen Messungen jedoch nur auf die Untersuchung von Kyphose und Lordose konzentriert. Mellin et al haben 1992 erstmals Beweglichkeitsparameter für 8- bis 16-jährige Schüler erhoben, ihr Kollektiv bestand aber lediglich aus 294 Probanden. Bei der vorliegenden Studie wurden insgesamt 1506 Schüler zwischen 8 und 18 Jahren mit dem 3D-Ultraschall-Messsystem der Firma Zebris untersucht. Dieses Kollektiv ist das bisher größte, bei dem sowohl mehrere Form- als auch Beweglichkeitsparameter erhoben worden sind. Durch die im Kapitel Probanden und Methoden beschriebene Schülerauswahl war eine annähernd gleiche Anzahl von Jungen und Mädchen sowie eine relativ gleichmäßige Verteilung auf die verschiedenen Altersklassen gewährleistet.

Ebenso wurden bei unserer Studie Schüler aus verschiedenen Gebieten Tirols und unterschiedlichen sozialen Verhältnissen (erhoben durch den Beruf der Eltern) untersucht, wodurch sich ein repräsentativer Querschnitt an Probanden ergab.

### **4.1.2 Untersuchung der Wirbelsäulenform**

Untersuchungen der Wirbelsäulenform erfolgen traditionsgemäß durch Observation des Rückens in aufrechtem Stand und in Vorbeuge. Bei letzterem können seitliche Verkrümmungen der Wirbelsäule durch die Entstehung eines Rippenbuckels und / oder Lendenwulstes erkannt werden. Verkrümmungen der Wirbelsäule lassen sich ebenfalls durch radiologische Untersuchungen erkennen und durch die Methode nach Cobb quantifizieren.

Wegen der Strahlenbelastung sollte jedoch zumindest für Reihen- und Folgeuntersuchungen eine nicht invasive Messmethode entwickelt werden, die mit möglichst geringem apparativen und zeitlichen Aufwand verbunden ist. Mit diesem Ziel sind im Laufe der Jahre mehrere nicht invasive Untersuchungsmethoden entwickelt worden: das Kyphometer (Debrunner 1972, später angewendet und untersucht von Ohlen 1989), der Pantograph (Willner 1981) und der Myrin-Inklinometer (Mellin 1986). Die von uns angewandte ultraschalltopometrische 3D-Stiftmessung ermöglicht eine Untersuchung der Wirbelsäule nicht nur unter statischen, sondern auch unter funktionellen Gesichtspunkten. Da eine Strahlenbelastung entfällt, kann das Messverfahren als reproduzierbare und reliable Screening-Methode eingesetzt werden (Natalis et al. 1999, Schmitz et al 2000).

### 4.1.3 Untersuchung der Wirbelsäulenbeweglichkeit

Genauere Messungen des Bewegungsausmaßes sind wichtig, um eine Bewegungseinschränkung klar definieren und entsprechende therapeutische Maßnahmen ergreifen zu können. Schon die Beweglichkeitsmessung in der Sagittalebene ist schwierig, weil sich die Rumpfbewegungen aus Hüft- und LWS-Bewegung zusammensetzen, die Wirbelsäulenbewegung selbst nur die Summe von Einzelbewegungen ist und die relevanten Gelenkstrukturen schlecht zugänglich sind. Messungen in anderen als in der Sagittalebene (Seitbeuge und Rotation) sind noch komplizierter durchzuführen bzw. weisen eine hohe Variabilität zwischen einzelnen Untersuchungen auf (Dopf et al 1994). Bisher galt die Beweglichkeitsmessung der Lendenwirbelsäule mittels Röntgenfunktionsaufnahmen als Referenzmethode, die jedoch mit hohem apparativen und zeitlichen Aufwand verbunden ist und für den Patienten eine nicht unerhebliche Strahlenbelastung mit sich bringt. Der Finger-Boden-Abstand wird neuerdings als sehr grober Parameter wieder empfohlen (Gauvin et al 1990), nachdem er bisher als ungenügend eingestuft worden war (Gill et al 1988, Merritt et al 1986, Moll et al 1976). Seine Hauptproblematik wurde darin gesehen, dass er nicht zwischen Becken- und LWS-Beweglichkeit unterscheidet und auch keine unterschiedlichen Körpergrößen bzw. Extremitätenlängen berücksichtigt. Als genauso ungenau sind die oft eingesetzte Schober-Technik und die von Macrae und Wright (1969) modifizierte Schober-Technik einzustufen (Miller et al 1992).

Die oben aufgeführten Techniken zur Bestimmung der Wirbelsäulenbeweglichkeit sind bis jetzt hauptsächlich bei Erwachsenen eingesetzt worden. Messungen bei Kindern sind nur von Salminen (1984), Mellin et al (1988 und 1992) und Haley et al (1992) durchgeführt worden.

Die hauptsächliche Einschränkung der beschriebenen Untersuchungsverfahren besteht in ihrer Statik und darin, dass sie Bewegungen nur in einer Ebene erfassen können. Deshalb bestand das Interesse, eine Messmethode zu entwickeln, die ein dreidimensionales Profil der Wirbelsäulenbeweglichkeit liefert.

Die Erhebung der Form- und Beweglichkeitsparameter erfolgte in der vorliegenden Studie mit der 3D-Ultraschallmessmethode und dem Programm Winspine. Natalis und König haben 1999 die Genauigkeit und Reliabilität des Bewegungsanalysesystems von Zebris für die Beweglichkeit der Halswirbelsäule untersucht. Sie haben die untersuchte Methode für valide, reliabel und in der klinischen Praxis einsetzbar befunden. Ihre Ergebnisse wurden durch die Studien von Schmitz et al. (2000) sowie Castro et al. (2000) bestätigt.

Wie bereits im Teil Ergebnisse beschrieben, haben die zwei von uns angewandten Untersuchungsprogramme Pointer Mobility und Triple Lumbar unterschiedliche Messergebnisse hervorgebracht. Dies liegt zum einen daran, dass Pointer Mobility eine statische Methode ist, bei der die Wirbelsäule abgetastet wird und somit die Winkel berechnet werden, während bei Triple Lumbar die Bewegung als Sinuskurve aufgezeichnet wird, aus der die Beweglichkeitsmaxima ermittelt werden können. Bemerkbar macht es sich vor allem bei der Extension und Lateralflexion, da es relativ schwierig ist, die Position der maximalen Bewegung für die Dauer der Taststiftuntersuchung einzuhalten. Bei der Triple Lumbar – Messung wiederum lässt sich die LWS-Beweglichkeit nicht komplett von der BWS-Beweglichkeit trennen, sodass die größeren Messwerte wahrscheinlich auch dadurch zustande kommen, dass an der ermittelten LWS-Beweglichkeit die unteren Brustwirbel mitbeteiligt sind. Bei Anwendung der 3D-Bewegungsanalyse der Firma Zebris sollte daher bedacht werden, dass diese zwei Programme unterschiedliche Ergebnisse liefern, die nicht direkt miteinander vergleichbar sind.

Es ist daher sinnvoll, sich für ein Programm zu entscheiden, um die Werte mit den von uns aufgestellten Normbereichen oder mit früheren Messungen ein und desselben Patienten vergleichen zu können. Wir empfehlen eine Untersuchung der Wirbelsäulenform mit dem Taststift, d.h. mit dem Programm Pointer Mobility, und eine Untersuchung der Wirbelsäulenbeweglichkeit mit dem Programm Triple Lumbar. Dies ermöglicht zwar nur eine Beweglichkeitsanalyse der Lendenwirbelsäule; wie aber aus dem nachfolgenden Teil „Diskussion von Ergebnissen“ hervorgeht, ist die Lendenwirbelsäule genau der Wirbelsäulenabschnitt, deren Beweglichkeit sich altersabhängig verändert, und der daher von größerem Interesse ist als die Brustwirbelsäule. Bei speziellen Fragestellungen zur Beweglichkeit der Brustwirbelsäule kann das Programm Pointer Mobility verwendet werden.

## **4.2. DISKUSSION DER ERGEBNISSE**

### **4.2.1 Orthopädische Untersuchung**

Wie aus dem Teil Diskussion von Material und Methoden hervorgeht, ist eine Studie mit einem vergleichbaren Kollektiv sowie mit entsprechend vielen Form- und Beweglichkeitsparametern wie bei unserer Studie noch nicht durchgeführt worden. Daher können nur einige der erhobenen Parameter anhand der vorhandenen Literatur diskutiert werden. Die Entwicklung der Körpergröße bei Kindern und der Zeitpunkt des stärksten Wachstums ist von mehreren Autoren (Balagué et al 1993, Prader et al 1989, Mellin und Poussa 1992, Nissinen 1995, Salminen 1984) untersucht worden.

Diese Studien ergaben genau wie die von uns durchgeführte Studie, dass das stärkste Wachstum bei Mädchen im Alter von etwa 12 Jahren und bei Jungen im Alter von etwa 14 Jahren stattfindet.

#### **4.2.2 Wirbelsäulenform**

Mit der vorliegenden Studie ist es erstmals gelungen, Normwerte sowohl für die Form als auch für die Beweglichkeit der Wirbelsäule zu erheben. Es hat sich eine signifikante Alters- und Geschlechtsabhängigkeit für mehrere Form- und Beweglichkeitsparameter ergeben, was bedeutet, dass es sinnvoll und wichtig ist, diese bei der Beurteilung der kindlichen Wirbelsäule zu berücksichtigen, um die Diagnose „normale Haltung“ oder „Haltungsfehler“ stellen zu können. In der vorhandenen Literatur hat man der thorakalen Kyphose größeren diagnostischen Wert zugesprochen als der lumbalen Lordose (Nissinen 1995). Die normale thorakale Kyphose ist in der Literatur mit 20°-40° angegeben (Moe et al 1978, Roaf et al 1960, Willner 1982, Mellin und Poussa 1992, Nissinen 1995). Unsere Messergebnisse liegen mit einem Durchschnitt von 35° ebenfalls in diesem Bereich. Im Gegensatz zur bisher vertretenen Meinung, dass die thorakale Kyphose schon bei Kindern und Jugendlichen mit zunehmendem Alter zunimmt und bei Mädchen geringer ausgeprägt ist als bei Jungen (Willner 1982, Carr et al 1991, Mellin und Poussa 1992, Nissinen 1995), haben wir bei Mädchen etwas stärker ausgeprägte Kyphosen gemessen und weder bei Jungen noch bei Mädchen eine Zunahme der Brustkyphose mit dem Alter festgestellt.

Wir schließen aus den Ergebnissen unserer Studie, dass die thorakale Kyphose vielmehr durch individuelle Faktoren als durch das Alter, die Pubertät oder den „Wachstumsschub“ bestimmt wird. Daher ist es wichtig, sich bei der Beurteilung der Brustkyphose die große Variabilität vor Augen zu halten. Somit sollte bei der klinischen Untersuchung der thorakalen Kyphose ein M. Scheuermann ausgeschlossen werden, ansonsten aber mit der Diagnose „Rundrücken“ vorsichtig umgegangen werden, da die „Haltung“ der Brustwirbelsäule auch stark von muskulären Imbalancen beeinflusst wird.

Wir haben anhand unserer Messergebnisse für die lumbale Lordose einen Normbereich zwischen 20° und 40° festgelegt. In der Literatur ist die Lordose mit Normwerten zwischen 40° und 60° angegeben (Moe et al 1978). Es wird betont, dass Normbereiche für die Lendenlordose schwieriger festzulegen sind als für die Brustkyphose (Polly et al. 1996), da sie unter anderem durch die Position der Arme während der Untersuchung beeinflusst wird (Stagnara et al. 1982). Diesem kann durch eine einheitliche Untersuchungsposition (Kap. Material und Methoden) vorgebeugt werden. Während Nissinen der lumbalen Lordose keine vergleichbare klinische Relevanz zuspricht wie der Kyphose, sind wir der Meinung, dass die lumbale Lordose die Gesamtform der Wirbelsäule stark beeinflusst. Unsere Messungen haben ergeben, dass sich die Lendenlordose im Gegensatz zur Brustkyphose altersabhängig verändert und zwischen den Geschlechtern signifikante Unterschiede zeigt. Bei der Beurteilung der Lendenlordose ist es daher wichtig, sich an den alters- und geschlechtsabhängigen Lordosewerten zu orientieren. Somit sollte man sich vor Augen halten, dass die lumbale Lordose in allen Altersklassen bei Mädchen stärker ausgeprägt ist als bei Jungen und dass sich die männliche Lordose im Sinne einer Abflachung mit zunehmendem Alter stärker verändert als die weibliche.

So kann z.B. bei einem 18-jährigen Jungen eine Lendenlordose von 30° als pathologisch bewertet werden, während sie bei einem gleichaltrigen Mädchen als normal zu sehen ist. Auch ist die Lendenlordose weniger von muskulären Einflüssen wie der Kraft der Bauch- oder Rückenmuskulatur abhängig (Kap. Ergebnisse), auch wenn Salminen (1984) in seiner Studie einen Zusammenhang zwischen abgeschwächter Bauchmuskulatur und „Hohlkreuz“ gesehen hat. Er hat die Kraftprüfung der Bauchmuskulatur zwar mit der gleichen Methode durchgeführt wie wir (Kap. Material und Methoden), die Wirbelsäulenform jedoch subjektiv nach den von Wagenhäuser (1971) festgelegten Kriterien bestimmt. Die Neigung des Beckens (SCR) korreliert mit den Krümmungsverhältnissen der Lendenwirbelsäule. Bei Mädchen ist der SCR durchschnittlich größer als bei Jungen und verändert sich mit zunehmendem Alter wenig. Bei Jungen richtet sich das Becken mit zunehmendem Alter auf und der Beckenneigungswinkel nimmt von 22° auf 13° ab.

### **4.2.3 Wirbelsäulenbeweglichkeit**

Die Wirbelsäulenbeweglichkeit ist ein Parameter, der bisher nur bei Erwachsenen ausreichend untersucht worden ist. Entsprechende Daten im Kindes- und Jugendalter sind unvollständig oder fehlen ganz. Bei der vorliegenden Studie haben wir mehrere Beweglichkeitsparameter sowohl für die Wirbelsäule als auch für das Becken erheben können. Es ist wichtig, nicht nur eine „normale Haltung“ von einem „Haltungsfehler“ unterscheiden zu können, sondern auch das „normale Bewegungsausmaß“ für die entsprechende Altersklasse zu kennen. Der Zusammenhang zwischen einer Minder-, aber auch einer Überbeweglichkeit der Wirbelsäule und der Entstehung von Kreuzschmerzen wird noch untersucht.

Wir können anhand der von uns erhobenen Daten erkennen, dass die Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule, wie bereits in der Literatur beschrieben (Salminen 1984), vor allem in Flexion schon im Alter von 8 bis 18 Jahren signifikant abnimmt ( $p=0.0001$ ). Für 8-10-jährige Jungen und Mädchen kann mit Hilfe dieser Ergebnisse für die lumbale Flexion mit dem Programm Triple Lumbar ein Normbereich zwischen  $80^\circ$  und  $100^\circ$  festgelegt werden. Bei 16-18-jährigen Schülern liegt dieser Bereich bei  $65^\circ$  bis  $80^\circ$ . Die abnehmende Lendenwirbelsäulenbeweglichkeit wird teilweise durch eine zunehmende Beckenbeweglichkeit, d.h. durch eine zunehmende Flexion aus dem Hüftgelenk, kompensiert, sodass die Gesamtbeweglichkeit in etwa gleich bleibt

In der vorhandenen Literatur ist zudem eine Abnahme der Beweglichkeit der Brustwirbelsäule vor allem bei 13-14-jährigen Schülern beschrieben (Mellin und Poussa 1988 und 1992). Bei unseren Untersuchungen waren die Schüler hingegen in der BWS in allen Altersklassen etwa gleich beweglich. Man kann erkennen, dass die Flexion aus der BWS in Grad mit zunehmendem Alter abnimmt (Abb. 32 und 33), die Längenzunahme der BWS in Flexion in cm mit zunehmendem Alter jedoch zunimmt (Abb. 30 und 31). Wenn man davon ausgehen kann, dass die Längenzunahme in cm nur durch das Wirbelsäulenwachstum bedingt ist, wäre mit Ausnahme der schwer interpretierbaren thorakalen Extension der Schluss zulässig, dass die Beweglichkeit der BWS im Beobachtungszeitraum gleich bleibt oder leicht abnimmt. Wir schließen daher, dass sowohl die thorakale Kyphose als auch die Beweglichkeit der Brustwirbelsäule vielmehr individuellen Einflüssen als alters- oder geschlechtsspezifischen Faktoren unterliegen.

Die Lendenwirbelsäulenbeweglichkeit in Seitbeuge und Rotation scheint ebenfalls von individuellen Faktoren wie Koordination, muskulärem Gleichgewicht und Bewegungsgefühl abhängig zu sein, da sich für diese Faktoren keine signifikanten Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen zeigen, und da das Bewegungsausmaß in diese Richtungen altersunabhängig unverändert bleibt.

Bei der Beweglichkeitsanalyse der Wirbelsäule fallen die teilweise sehr unterschiedlichen Messwerte der zwei Messtechniken „Pointer Mobility“ und „Triple Lumbar“ auf. Wie bereits im Kapitel Diskussion von Material und Methoden erwähnt, stellt Pointer Mobility nur eine Momentaufnahme der Beweglichkeit dar, während Triple Lumbar die gesamte Bewegung als Sinuskurve aufzeichnet und die Beweglichkeitsmaxima als Mittelwerte errechnet.

Vor allem die Extension aus der BWS und LWS lässt sich mit Pointer Mobility nur unzureichend interpretieren, da es für die Probanden relativ schwer ist, die Untersuchungsposition der Rückbeuge für die Dauer der Messung ruhig einzuhalten. Die BWS-Beweglichkeit lässt sich nur mit dem Programm Pointer Mobility ermitteln. Da man aber anhand unserer Messergebnisse davon ausgehen kann, dass sich vor allem die LWS-Beweglichkeit altersabhängig verändert, während die BWS-Beweglichkeit annähernd gleich bleibt, kann man sich bei der Beweglichkeitsanalyse der Wirbelsäule vor allem auf die LWS konzentrieren und diese sinnvollerweise mit dem Programm Triple Lumbar durchführen. Dadurch ergeben sich für die Beweglichkeit besser interpretierbare Werte als mit dem Programm Pointer Mobility.

Die auffallende Seitendifferenz der Beweglichkeit in Seitbeuge und Rotation bei beiden Geschlechtern könnte auf die Händigkeit zurückzuführen sein. Wir haben die Händigkeit jedoch nicht als Parameter in unsere Studie hineingenommen. Bei den Untersuchungen von Burwell et al. (1983), deren Probanden ebenfalls nach rechts beweglicher waren, konnte kein Zusammenhang mit der Händigkeit festgestellt werden.

Aus der Literatur sind bisher noch keine Daten zur Beckenbeweglichkeit im Kindesalter bekannt. Die Bewegung im Becken entsteht aus dem Hüftgelenk und der Lendenwirbelsäule. Da bei unseren Untersuchungen sowohl die „Pelvic Flexion“ (Pointer Mobility) als auch die „Pelvic Tilt vor“ (Triple Lumbar) im Alter von 8 bis 18 Jahren zunehmen, kann man schließen, dass die Beweglichkeit aus dem Hüftgelenk mit zunehmendem Alter zunimmt und somit die abnehmende Lendenwirbelsäulenbeweglichkeit kompensiert. Während Jungen in der Wirbelsäule beweglicher sind, haben Mädchen ein größeres Bewegungsausmaß aus dem Hüftgelenk. Die Beweglichkeit des Beckens hängt wesentlich von der Dehnungsfähigkeit der Muskulatur ab, und zwar sowohl der ischiocruralen Muskulatur als auch des Iliopsoas. Je verkürzter die Muskeln sind, desto geringer ist die Beckenbeweglichkeit. Mädchen sind unseren Untersuchungen nach seltener muskulär verkürzt als Jungen, wodurch die bessere Beweglichkeit im Hüftgelenk zu erklären wäre. Zu diskutieren bleibt, ob das Ausmaß der Lendenlordose einen Einfluss auf die Beweglichkeit im Sinne einer Abnahme der Lendenwirbelsäulenbeweglichkeit und Zunahme der Beweglichkeit im Hüftgelenk mit zunehmender Lendenlordose hat. Dies wäre für Jungen zutreffend. Auf die Beweglichkeit der Wirbelsäule hat die Dehnfähigkeit der Muskulatur unseren Ergebnissen nach keinen Einfluss, auch wenn ein derartiger Zusammenhang in der Literatur beschrieben ist (Salminen 1984).

Die orthopädische Untersuchung hat bei unserer Studie ergeben, dass sowohl von den Jungen als auch von den Mädchen am häufigsten die 13-15-Jährigen verkürzt sind. Dies ist vermutlich mit dem schnellen Längenwachstum in diesem Alter zu erklären. Zudem ist ein Grund für die zunehmenden muskulären Verkürzungen vor allem der ischiocruralen Muskulatur in der Zunahme der sitzenden Tätigkeit und der Abnahme der Bewegung und sportlichen Aktivität der Schüler zu sehen (Mandal 1982, Schede 1961, Salminen 1984).

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

In der Tages- und Fachpresse wird zunehmend über „Haltungsfehler“ und „Wirbelsäulenfehlformen“ bei Kindern und Jugendlichen berichtet, ohne dass es für diese Begriffe eine klare Definition gibt. Auch heute noch gibt es keine eindeutigen, allgemein anerkannten und vor allem objektiven Kriterien zur Beurteilung der Haltung. Das Ziel unserer Studie war es, Normwerte für die Wirbelsäulenform und- beweglichkeit im Schulalter an einem gut definierten Kollektiv gesunder Schüler zu erheben. Wir haben insgesamt 1506 Schüler zwischen 8 und 18 Jahren aus verschiedenen Gebieten Tirols untersucht, indem wir eine Anamnese zur Erhebung von Vorerkrankungen und eine klinisch-orthopädische Untersuchung zur Beurteilung der Wirbelsäule auf Form, Ausrichtung und Krümmung sowie zur Erfassung von Beckenstand, Schulterstand, Beinachse und Beinlängendifferenzen durchgeführt haben. Die Normwerte für Wirbelsäulenform und –beweglichkeit wurden durch Vermessung der Wirbelsäule mittels Zebris-3D-Bewegungsanalyse und dem Messprogramm Winspine erhoben.

Die Messung der Wirbelsäulenform ergab eine sehr große individuelle Streuung der Brustkyphose mit 60% der Werte zwischen 20° und 40°. Die thorakale Kyphose war bei Mädchen etwas, jedoch nicht signifikant stärker ausgeprägt als bei Jungen. Die Lendenlordose und die Beckenkipfung waren bei Jungen signifikant altersabhängig - die lumbale Lordose und der Sakrumwinkel wurden mit zunehmendem Alter kontinuierlich flacher, während sie bei den Mädchen gleich blieben. Bis auf die Altersklasse der 8-Jährigen waren sowohl die Lendenlordose als auch der Sakrumwinkel bei den Mädchen stärker ausgeprägt als bei den Jungen.

Die Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule nahm sowohl bei Jungen als auch bei Mädchen mit zunehmendem Alter ab ( $p=0.0001$ ). Jungen waren mit Ausnahme der 16-18-Jährigen beweglicher als gleichaltrige Mädchen. Auch die Flexion im Becken war signifikant alters- und geschlechtsabhängig ( $p=0.001$ ) und wurde stark vom Dehnungszustand der ischiocruralen Muskulatur und des Iliopsoas beeinflusst. Mädchen waren im Becken in allen Altersklassen beweglicher als Jungen, und die Beckenbeweglichkeit nahm bei beiden Geschlechtern mit dem Alter von 8 bis 18 Jahren stetig zu. Die anderen von uns erhobenen Form- und Beweglichkeitsparameter ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen oder zwischen den einzelnen Altersklassen.

Wir schließen aus unserer Studienergebnissen, dass die sagittalen Krümmungen der Wirbelsäule, die thorakale Kyphose und lumbale Lordose, bereits mit 8 Jahren angelegt sind und im Wesentlichen bis Wachstumsabschluss unverändert bleiben, mit Ausnahme der Lendenlordose bei Knaben, die mit zunehmendem Alter stetig zunimmt. Somit scheint die sich mit dem Alter verändernde „Haltung“ vielmehr durch die Lendenlordose und individuelle Faktoren wie muskuläre Imbalancen bestimmt zu werden als durch den bisher so oft „bekrittelten“ Rundrücken.

Die mit zunehmendem Alter abnehmende Lendenwirbelsäulenbeweglichkeit scheint teilweise durch eine zunehmende Beckenbeweglichkeit kompensiert zu werden, sodass die Gesamtbeweglichkeit in etwa gleich bleibt. Es bleibt zu untersuchen, in wie weit sich das Ausmaß der Lendenlordose und der Lendenwirbelsäulenbeweglichkeit auf das Entstehen von Kreuzschmerzen auswirkt, denn Aktivitäten zur Prävention von Kreuzschmerzen durch Beseitigung von „Haltungsfehlern“ sind nur dann legitim, wenn ein derartiger Zusammenhang nachgewiesen ist.

## 6. LITERATURVERZEICHNIS

1. Asmussen E, Helböll-Nielsen K. Posture, mobility and strength of the back in boys, 7 to 16 year old. *Acta Orthop Scand.* 1959;28:174-189.
2. Balagué F, Damidot P, Nordin M, Parnianpour M, Waldburger M. Cross-Sectional Study of the Isokinetic Muscle Trunk Strength Among School Children. *Spine.* 1993;9:1199-1205.
3. Balagué F, Dotouit G, Waldburger M. Low back pain in school children. *Scand J Rehab Med.* 1988;20:175-179.
4. Balagué F, Nordin M, Skovron M, Dutoit G, Yee A, Waldburger M. Non-specific low back pain among schoolchildren: A field survey with analysis of some associated factors. *J Spinal Disord.* 1994.
5. Balagué F, Skovron M, Nordin M, Dutoit G, Pol L, Waldburger M. Low back pain in schoolchildren. *Spine.* 1995;20:1265-1270.
6. Battie M, Bigos S, Sheely A, Worthley M. Spinal flexibility and individual factors that influence it. *Phys Ther.* 1987;67:653-658.
7. Battie P, Rothstein J, Lamb R. Reliability of the attraction method for measuring lumbar spine backward bending. *Phys Ther.* 1987;67:364-369.
8. Bernhardt M, Bridwell K.H. Segmental Analysis of the Sagittal Plane Alignment of the Normal Thoracic and Lumbar Spines and the Thoracolumbar Junction. *Spine.* 1989;7:717-721.
9. Breitenfelder H. Ergebnisse der Untersuchungen auf Haltungsschäden an 600 Schulkindern. *Verh. Dtsch. Orthop. Ges.* 43. Kongress 1955.
10. Burdett R, Kathryn E, Michael P. Reliability and validity of four instruments for measuring lumbar spine and pelvic positions. *Phys Ther.* 1986;66:677-684.

11. Burton A. Regional lumbar sagittal mobility; measurements by flexicurves. *Clinical Biomechanics*. 1986;1:20-26.
12. Burton A, Clarke R, McClune T, Tillotson K. The natural history of low back pain in adolescents. *Spine*. 1996;21:2323-2328.
13. Burwell R, James N, Johnson F, Webb J, Wilson Y. Standardised trunk asymmetry scores: A study of back contour in healthy schoolchildren. *J Bone Joint Surg* 65B:452-463, 1983.
14. Carr A, Jefferson R, Turner-Smith A, Beavis A. An Analysis of Normal Back Shape Measured by ISIS Scanning. *Spine*. 1991;6:656-659.
15. Carr A, Jefferson R, Turner-Smith A, Weisz I, Thomas D, Stavarakis T, Houghton G. Surface stereophotogrammetry of thoracic kyphosis. *Acta Orthop Scand*. 1989;60(2):177-180.
16. Castro W, Sautmann A, Schilgen M, Sautmann M. Noninvasive three-dimensional analysis of cervical spine motion in normal subjects in relation to age and sex *Spine*. 2000;25:443-449.
17. Chernukha K, Daffner R, Reigel D. Lumbar Lordosis Measurement. A New Method versus Cobb Technique. *Spine*. 1998;1:74-80.
18. Cobb R. Outline for the study of scoliosis. *American Academy of Orthopaedic Surgeons Instructional Course Lectures*. Vol V, 1948, pp 261.
19. Dillard J, Trafimow J, Andersson G, Cronin K. Motion of the lumbar spine. Reliability of two measurement techniques. *Spine*. 1991;16:321-324.
20. Dopf C, Mandel S, Geiger D, Mayer P. Analysis of spine motion variability using a computerized goniometer compared to physical examination. *Spine*. 1994;19:586-595.
21. D'Osualdo F, Schierano S, Iannis M. Validation of Clinical Measurement of Kyphosis With a Simple Instrument, the Arcometer. *Spine*. 1997;4:408-413.

22. Duff E, Draper E. Survey of normal adolescent back shape as measured by ISIS, Surface Topography and Spinal Deformity: Proceeding of the 4<sup>th</sup> International Symposium. Edited by IAF Stokes, JR Pekelsky, MS Moreland. Stuttgart, Germany, Fischer Verlag. 1987;pp163-170.
23. Dvorak J, Panjabi M, Chang D. Functional radiographic diagnoses of the lumbar spine. Flexion-Extension and Lateral Bending. Spine. 1991;16:562-571.
24. Dvorak J, Vajda E, Grob D, Panjabi M. Normal motion of the lumbar spine as related to age and gender. Europ. Spine J. 1995;4:18-23.
25. Ensink F-B, Saur P, Frese K, Seeger D, Hildebrandt J. Lumbar Range of Motion: Influence of Time of Day and Individual Factors on Measurements. Spine. 1996;11:1339-1343.
26. Fon G, Pitt M, Thies A. Thoracic kyphosis: Range in normal subjects. Am J Roentgenol. 1980;134:979-983.
27. Frost M, Stuckey S, Smalley L, Dormann G. Reliability of measuring trunk inclination in centimeters. Phys Ther. 1982;62:1431-1438.
28. Gauvin M, Riddle D, Rothstein J. Reliability of clinical measurements of forward bending using the modified fingertip-to-floor method. Phys Ther. 1990;70:443-447.
29. Gill K, Krag M, Johnson G, Haugh L, Pope M. Repeatability of four clinical methods for assessment of lumbar spinal motion. Spine. 1988;13:50-53.
30. Gussmann R. Häufigkeit von Haltungsschwächen bei einem Kollektiv von Berliner Schülern. Diss. Freie Univ. Berlin. 1975.
31. Haley S, Tada W, Carmichael E. Spinal mobility in young children. A normative study. Phys Ther. 1986;66(11):1697-1703.
32. Heimendinger J. Die Ergebnisse von Körpermessungen an 5000 Basler Kindern von 0 bis 18 Jahren. Acta paed. Helv. 1964;19.

- 33.Hildebrandt J, Pflingsten M, Frese K, Seeger D, Ensink F, Saur P. Reliability and validity of the inclinometer technique for measurement of trunk flexibility. *Manuelle Medizin*. 1995;33:11-22.
- 34.Hyytiäinen K, Salminen J, Suviola T, Wickström G, Pentti J. Reproducibility of nine tests to measure spinal mobility and muscle strength. *Scand J Rehab Med*. 1991;23:3-10.
- 35.Keeley J, Mayer T, Cox R, Gatchell R, Smith J, Mooney V. Quantification of lumbar function. Part 5: Reliability of range of motion measures in the sagittal plane and an in vivo torso rotation measurement technique. *Spine*. 1986;11:31-35.
- 36.Kendall H, Kendall F, Wadsworth G. *Muscles testing and function*. Baltimore: The Williams and Wilkins Co. 1978:111-239.
- 37.Letts M, Quanbury A, Gouw G, Kolsun W, Letts E. Computerized ultrasonic digitization in the measurement of spinal curvature. *Spine*. 1988;13:1106-1110.
- 38.Loebel W. Measurement of spinal posture and range of spinal movement. *Ann of Phys Med*. 1967;9:103-110.
- 39.Lord M, Small J, Dinsay J, Watkins R. Lumbar Lordosis. Effects of Sitting and Standing. *Spine*. 1997;21:2571-2574.
- 40.Macrae I, Wright V. Measurement of back movement. *Ann Rheum Dis*. 1969;28:584-589.
- 41.Mandal, AC. *Den sittande människan*. Stockholm: Liber Förlag, 1982; 13-71.
- 42.Matthiass HH. *Reifung und Entwicklung in ihren Beziehungen zu Leistungsstörungen des Haltungs- und Bewegungsapparates, Vol. 1*, Stuttgart 1957.
- 43.Matthiass HH. Die Bedeutung des Pubertätsablaufes für die Entstehung von Haltungsstörungen. *Dtsch. Orthop. Ges.* 1955; K43.
- 44.Matthiass HH. *Reifung, Wachstum und Wachstumsstörung des Haltungs- und Bewegungsapparates im Jugendalter, Vol. 37-39*, S. Karger Verlag, Basel 1966.

45. Mayer R, Chen I-H, Lavender S, Trafimow J, Andersson G. Variance in the Measurement of Sagittal Lumbar Spine Range of Motion Among Examiners, Subjects and Instruments. *Spine*. 1995;13:1489-1493.
46. Mayer T, Allan F, Kristoferson S, Mooney V. Use of noninvasive techniques for quantification of spinal range-of-motion in normal subjects and chronic low-back dysfunction patients. *Spine*. 1984;9:588-595.
47. McCarthy J, Betz R. The relationship between tight hamstrings and lumbar hypolordosis in children with cerebral palsy. *Spine*. 2000;25:211-213.
48. McGregor A, McCarthy I, Hughes S. Motion Characteristics of the Lumbar Spine in the Normal Population. *Spine*. 1995;22:2421-2428.
49. Mellin G. Measurement of thoracolumbar posture and mobility with a Myrin Inclinator. *Spine*. 1986;11:759-762.
50. Mellin G, Härkönen H, Poussa M. Spinal mobility and posture and their correlations with growth velocity in structurally normal boys and girls aged 13 to 14. *Spine*. 1988;13(2):152-154.
51. Mellin G, Poussa M. Spinal mobility and posture in 8- to 16-year-old children. *J Ortop Res*. 1992;10(2):211-216.
52. Menge M. Form und Haltung der normalen Wirbelsäule im Röntgenbild. *Z.Orthop*. 1982;120:146-150.
53. Merritt J, McLean T, Erickson R, Offord K. Measurements of trunk flexibility in normal subjects: reproducibility of three clinical methods. *Mayo Clin Proc*. 1986;61:192-197.
54. Miller S, Mayer T, Cox R, Gatchel R. Reliability Problems with the Modified Schoeber Technique for True Lumbar Flexion Measurement. *Spine*. 1992;3:345-348.
55. Moe J, Winter R, Bradford D, Lonstein J. Scoliosis and other spinal deformities. Philadelphia, London, Toronto: WB Saunders Co., 1978:325.

56. Moll J, Wright V. Measurement of spinal movement. The lumbar spine and back pain. Grune&Straton, New York. 1976.
57. Neugebauer H. Rückenmessgerät für Reihenuntersuchungen. Z Orth Grenz. 1970;108:395-406.
58. Neugebauer H. Früherkennung und Frühbehandlung von Wirbelsäulenerkrankungen im Jugendalter. Österr. Ärztezg. 1970;25:1449 ff.
59. Neugebauer H. Kyphoseindex für Reihenuntersuchungen. Orthopädische Praxis. 1975;11:482-487.
60. Neugebauer H. Diagnose, Prävention und Therapie von Haltungsschäden bei der österreichischen Schuljugend. Österr Ärztezg. 1976;31:679.
61. Nissinen M, Heliövaara M, Seitsamo J, Alaranta H, Poussa M. Anthropometric Measurements and the Incidence of Low Back Pain in a Cohort of Pubertal Children. Spine. 1994;12:1367-1370.
62. Nissinen M. Spinal posture during pubertal growth. Acta Paediatr. 1995;84(3):308-312.
63. Nissinen M, Heliövaara M, Seitsamo J, Könönen M, Hurmerinta K, Poussa M. Development of trunk asymmetry in a cohort of children ages 11 to 22 years. Spine. 2000; 25:570-574.
64. Öhlen G, Spangfort E, Tingvall C. Measurement of the spinal sagittal configuration and mobility with Debrunner`s Kyphometer. Spine. 1989;14:580-583.
65. Polly D, Kilkelly F, McHale K, Asplund L, Mulligan M, Chang A. Measurement of Lumbar Lordosis. Evaluation of Intraobserver, Interobserver and Technique Variability. Spine. 1996;13:1530-1536.
66. Portek I, Percy M, Reader G, Mowat A. Correlation between radiographic and clinical measurement of lumbar spine movement. Br J Rheumatol. 1983;22:197-205.

67. Propst-Proctor S, Bleck E. Radiographic determination of lordosis and kyphosis in normal and scoliotic children. *J Pediatr Orthop.* 1983;3:344-346.
68. Reynolds P. Measurement of spinal mobility: a comparison of three methods. *Rheumatol Rehabil.* 1975;14:180-185.
69. Roaf R. Vertebral growth and its mechanical control. *J Bone Joint Surg.* 1960;42B:40-59.
70. Salisbury P, Porter R. Measurement of lumbar sagittal mobility. A comparison of methods. *Spine.* 1987;12:190-193.
71. Salminen JJ. The adolescent back; A field survey of 310 Finnish schoolchildren. *Acta Paediatr. Scand. Suppl.* 1984;315:8-122.
72. Saur P, Ensink F-B, Frese K, Seeger D, Hildebrandt J. Lumbar Range of Motion: Reliability and Validity of the Inclinator Technique in the Clinical Measurement of Trunk Flexibility. *Spine.* 1996;21:1332-1338.
73. Schede F. Grundlagen der körperlichen Erziehung. Stuttgart: Enke-Verlag, 1961:48-90.
74. Schmitz A, Prange S, Wallny Th, Jäschke H, Schumpe G, Schmitt O. Erfassung des Anteflexionsverhaltens der Wirbelsäule bei Schulkindern mittels Ultraschalltopometrie. *Ultraschall in Med.* 2000;21:128-131.
75. Schulz A, Sörensen S, Andersson G. Measurements of spine morphology in children, ages 10-16. *Spine.* 1984;9:70-73.
76. Staffel F. Die menschlichen Haltungstypen und ihre Beziehung zu Rückgratverkrümmungen.
77. Stagnara P, De Mauroy J, Dran G, Gonon G, Costanzo G, Dimnet J, Pasquet A. Reciprocal Angulation of Vertebral Bodies in a Sagittal Plane: Approach to References for the Evaluation of Kyphosis and Lordosis. *Spine.* 1982;7:335-342.
78. Sullivan M, Dickinson C, Troup J. The influence of age and gender on lumbar spine sagittal plane range of motion. *Spine.* 1994;19:682-686.

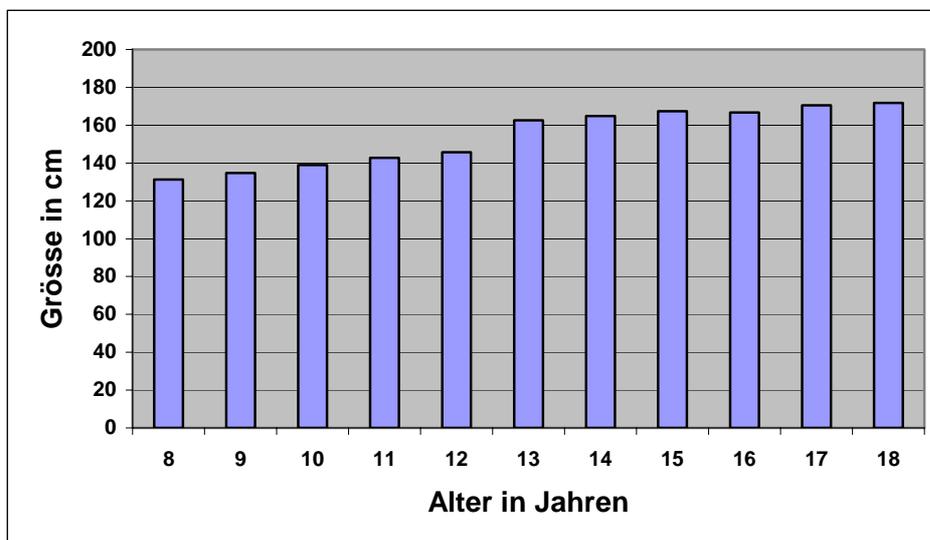
79. Suzuki N, Yamaguchi Y, Yamashta Y, Armstrong G. Measurement of posture using moiré topography. In: Moreland M, Pope M, Armstrong G, eds. Moiré fringe topography and spinal deformity. New York, Oxford: Pergamon Press. 1981;122-131.
80. Tillotson K, Burton A. Noninvasive Measurement of Lumbar Sagittal Mobility. An Assessment of the Flexicurve Technique. *Spine*. 1991;1:29-33.
81. Timm H. Zur Objektivierung von Fehlhaltungen der Wirbelsäule. *Z. Orthop.* 1969;106:716-726.
82. Vedantam R, Lenke L, Bridwell K, Linville D, Blanke K. The effect of variation in arm position on sagittal spinal alignment. *Spine*. 2000;25:2204-2209.
83. Willner S. Spinal Pantograph – A non-invasive technique for describing kyphosis and lordosis in the Thoraco-lumbar spine. *Acta Orthop. Scand.* 1981;52:525-529.
84. Willner S, Johnson B. Thoracic kyphosis and lumbar lordosis during the growth period in children. *Acta Paediatr Scand.* 1983;72:873-878.
85. Wing P, Tsang I, Gagnon F, Susak L, Gagnon R. Diurnal changes in the profile shape and range of motion of the back. *Spine*. 1992;17:761-766.

## 7. ANHANG: TABELLEN UND ABBILDUNGEN

Tab. 1 Größe, weibliche Probanden (Mittelwert, Standardabweichung (s), 95% Konfidenzintervall)

Alter	n	Mittelwert(cm)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	131.32	3.43	124.60	138.04
9	73	134.71	6.85	121.28	148.14
10	51	138.92	7.10	125.00	152.84
11	74	142.71	6.44	130.09	155.33
12	75	145.73	7.23	131.56	159.90
13	74	162.56	6.58	149.66	175.46
14	94	164.81	12.09	141.11	188.51
15	95	167.30	5.79	155.95	178.65
16	96	166.72	6.64	153.71	179.73
17	81	170.39	6.13	158.38	182.40
18	34	171.86	7.01	158.12	185.60

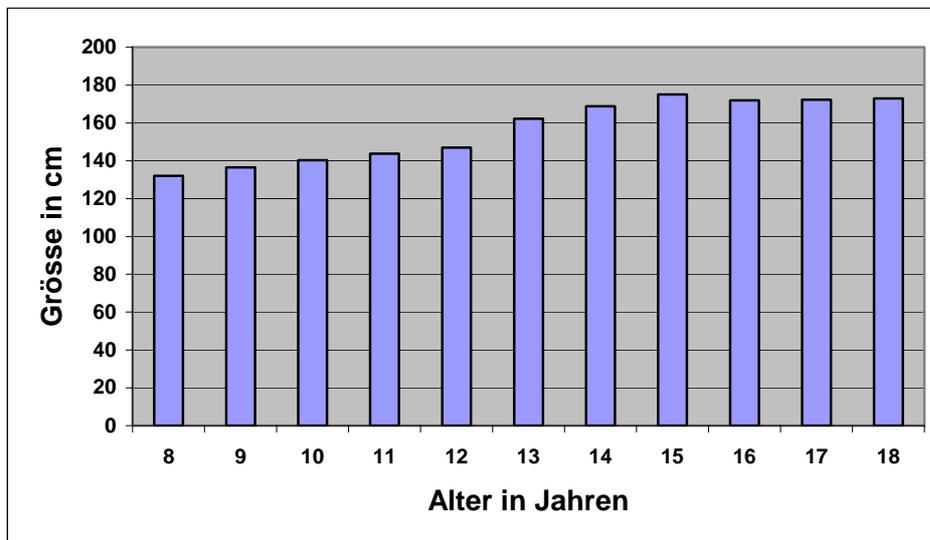
Abb. 10 Größe, weibliche Probanden



Tab. 2 Größe, männliche Probanden

Alter	n	Mittelwert(cm)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	132.15	5.16	122.04	142.26
9	62	136.58	5.32	126.15	147.01
10	63	140.28	7.62	125.34	155.22
11	69	143.80	6.51	131.04	156.56
12	67	147.04	7.63	132.09	161.99
13	76	162.30	8.68	145.29	179.31
14	81	168.86	7.77	153.63	184.09
15	88	175.10	7.10	161.18	189.02
16	75	171.90	6.60	158.96	184.84
17	70	172.32	6.83	158.93	185.71
18	50	172.98	7.80	157.69	188.27

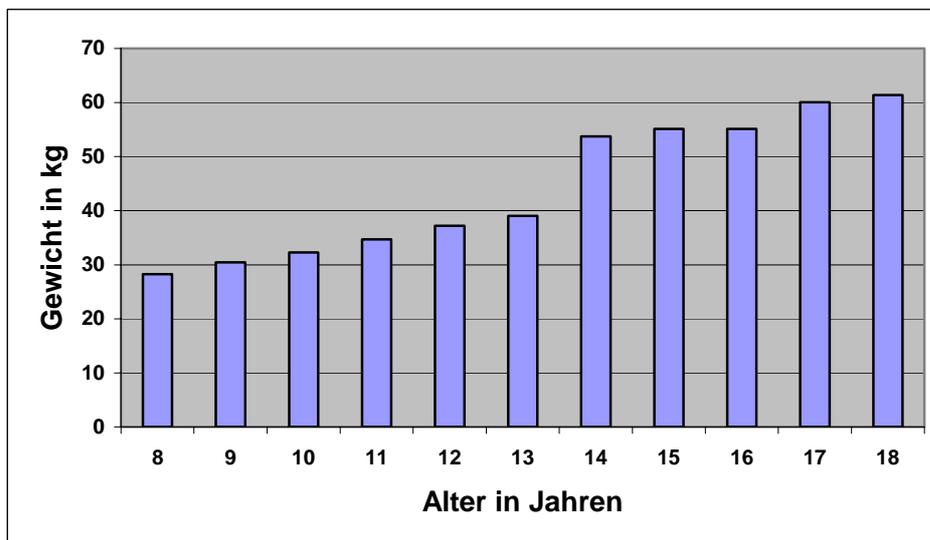
Abb. 11 Größe, männliche Probanden



Tab. 3 Gewicht, weibliche Probanden

Alter	n	Mittelwert(kg)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	28.26	4.91	18.64	37.88
9	73	30.42	6.93	16.84	44.00
10	51	32.30	6.73	19.11	45.49
11	74	34.68	7.90	19.20	50.16
12	75	37.20	8.44	20.66	53.74
13	74	39.05	7.00	25.33	52.77
14	94	53.74	7.89	38.28	69.20
15	95	55.10	7.13	41.13	69.07
16	96	55.15	6.78	41.86	68.44
17	81	60.04	8.26	43.85	76.23
18	34	61.38	7.86	45.97	76.79

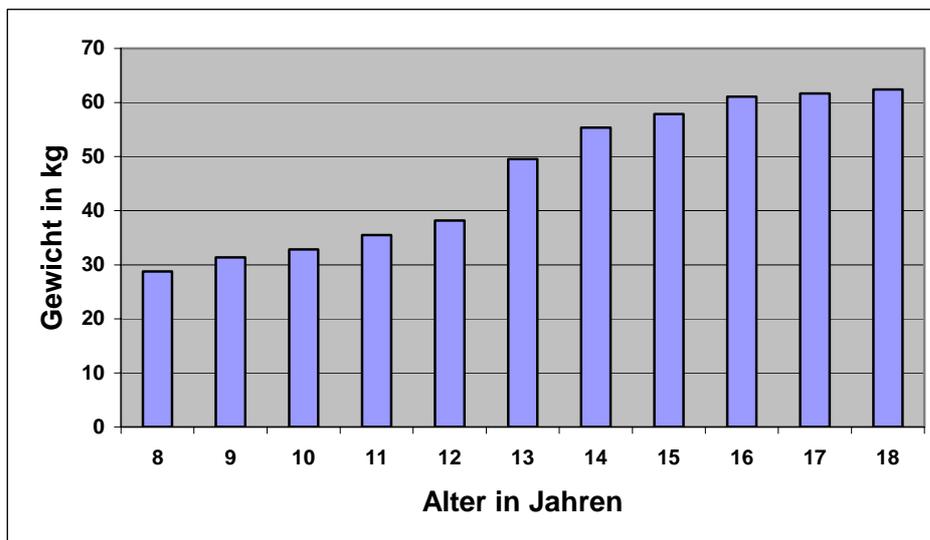
Abb. 12 Gewicht, weibliche Probanden



Tab. 4 Gewicht, männliche Probanden

Alter	n	Mittelwert(kg)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	28.79	5.46	18.09	39.49
9	62	31.33	5.30	20.94	41.72
10	63	32.87	6.60	19.93	45.81
11	69	35.51	7.26	21.28	49.74
12	67	38.20	9.04	20.48	55.92
13	76	49.54	10.11	29.72	69.36
14	81	55.37	9.79	36.18	74.56
15	88	57.87	8.90	40.43	75.31
16	75	61.11	9.61	42.27	79.95
17	70	61.66	7.82	46.33	76.99
18	50	62.43	8.79	45.20	79.66

Abb. 13 Gewicht, männliche Probanden



Tab. 5 Orthopädische Untersuchung, weibliche Probanden

Alter	n	Beinlängendifferenz		Beinachse		
		rechts+ (%)	links+ (%)	gerade (%)	Valgus (%)	Varus (%)
8	18	10.5	10.5	52.6	42.1	0
9	73	12.2	4.1	60.8	18.	0
10	51	9.6	9.6	78.8	13.5	0
11	74	10.8	10.8	89.2	9.5	0
12	75	10.7	5.3	90.7	9.3	0
13	74	17.6	9.5	93.2	5.4	1.4
14	94	11.8	16.1	98.4	1.6	0
15	95	14.7	15.8	94.2	5.8	0
16	96	13.4	12.4	97.4	2.6	0
17	81	11.0	11.0	96.3	3.7	0
18	34	2.9	8.8	97.1	2.9	0

Tab. 6 Orthopädische Untersuchung, männliche Probanden

Alter	n	Beinlängendifferenz		Beinachse		
		rechts+ (%)	links+ (%)	gerade (%)	Valgus (%)	Varus (%)
8	21	4.8	0	61.9	14.3	0
9	62	4.8	6.5	74.2	11.3	0
10	63	9.4	7.0	85.9	7.8	0
11	69	11.6	11.6	85.5	14.5	0
12	67	9.0	12.0	91.0	7.5	0
13	76	17.1	18.4	92.1	6.6	0
14	81	7.4	33.3	96.3	3.1	0
15	88	21.3	21.3	98.9	1.1	0
16	75	9.3	26.7	97.3	2.7	0
17	70	17.1	27.1	98.6	1.4	0
18	50	24.0	10.0	96.0	4.0	0

Tab. 7 Dehnfähigkeit ischiocrurale Muskulatur und M. iliopsoas, weibliche Probanden

Alter	n	Ischiocrurale		Iliopsoas	
		normal (%)	verkürzt (%)	normal (%)	verkürzt (%)
8	18	83.3	16.7	88.9	11.1
9	73	75.9	24.1	79.7	20.3
10	51	58.3	41.7	58.3	41.7
11	74	63.5	36.5	70.3	29.7
12	75	65.8	34.2	63.5	36.5
13	74	64.9	35.1	86.5	13.5
14	94	50.5	49.5	91.4	8.6
15	95	53.7	46.3	90.5	9.5
16	96	58.8	41.2	88.7	11.3
17	81	64.2	35.8	93.8	6.2
18	34	64.7	35.3	88.2	11.8

Abb. 14 Anteil muskulär verkürzter Schüler, ischiocrurale Muskulatur, weibliche Probanden

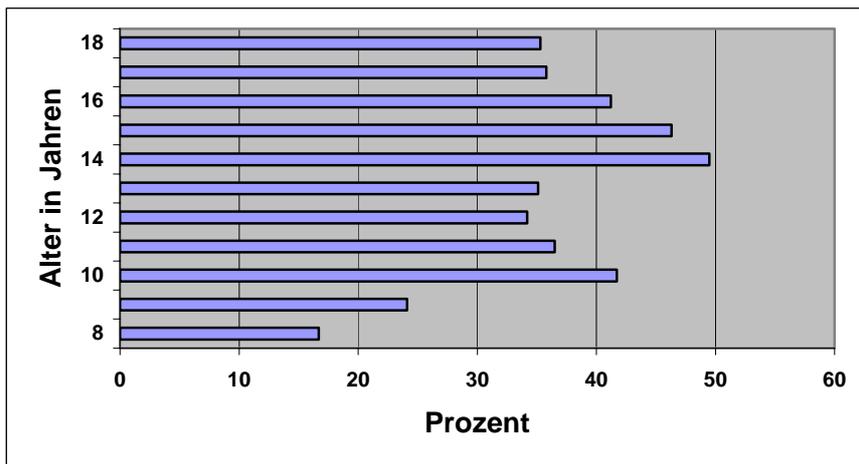
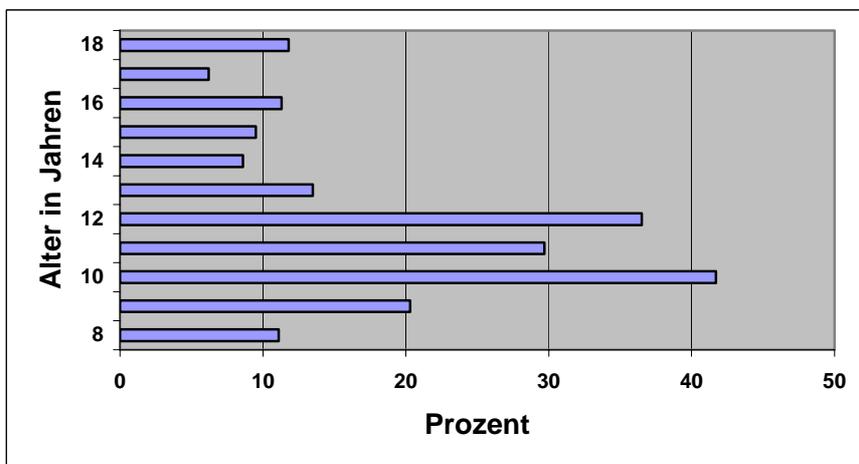


Abb. 15 Anteil muskulär verkürzter Schüler, M. iliopsoas, weibliche Probanden



Tab. 8 Dehnfähigkeit der Muskulatur, männliche Probanden

Alter	n	Ischiocrurale		Iliopsoas	
		normal (%)	verkürzt (%)	normal (%)	verkürzt (%)
8	21	50	50	93.7	6.3
9	62	52.8	47.2	77.4	22.6
10	63	55	45	43.3	56.7
11	69	65.2	34.8	60.9	39.1
12	67	55.2	44.8	58.2	41.8
13	76	36.8	63.2	78.9	21.1
14	81	27.2	72.8	85.2	14.8
15	88	35.2	64.8	95.5	4.6
16	75	32	68	90.7	9.3
17	70	52.9	47.1	88.6	11.4
18	50	54	46	82	18

Abb.16 Anteil muskulär verkürzter Schüler, ischiocrurale Muskulatur, männliche Probanden

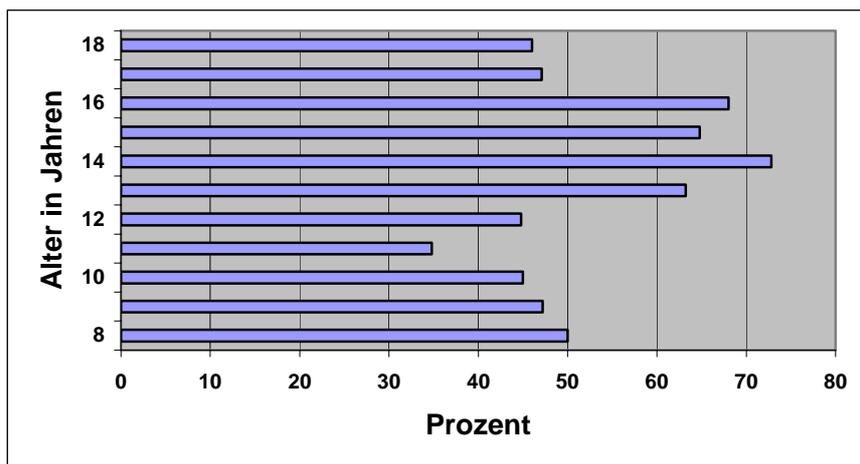
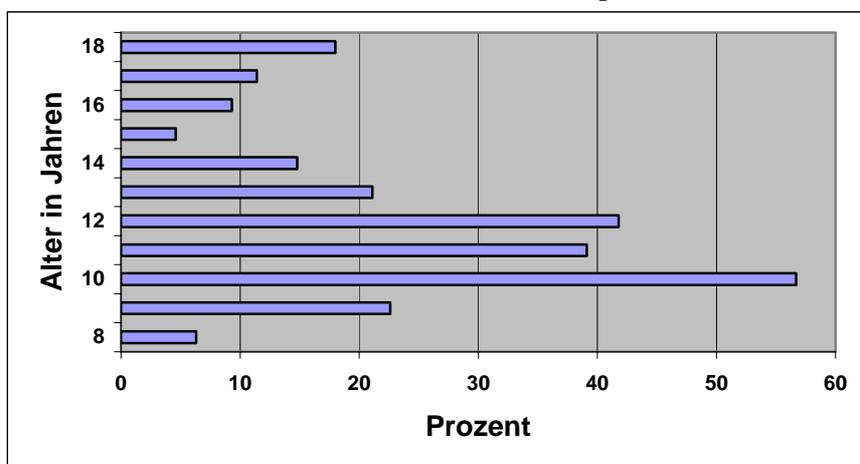


Abb.17 Anteil muskulär verkürzter Schüler, Iliopsoas, männliche Probanden



Tab. 9 Kraftprüfung Bauch- und Rückenmuskulatur, weibliche Probanden

Alter	n	Bauchmuskulatur		Rückenmuskulatur	
		normal (%)	schwach (%)	normal (%)	schwach (%)
8	18	47.4	47.4	78.9	15.8
9	73	32.4	43.2	59.5	20.3
10	51	30.8	61.5	69.2	23.1
11	74	60.8	39.2	90.5	9.5
12	75	50.7	46.7	86.7	12
13	74	45.9	54.1	94.6	5.4
14	94	52.7	47.3	90.3	9.7
15	95	49.5	50.5	83.2	16.8
16	96	57.7	42.3	90.7	9.3
17	81	46.3	52.4	90.2	8.5
18	34	47.1	52.9	85.3	14.7

Abb. 18 Anteil muskulär abgeschwächter Schüler, Bauchmuskulatur, weibliche Probanden

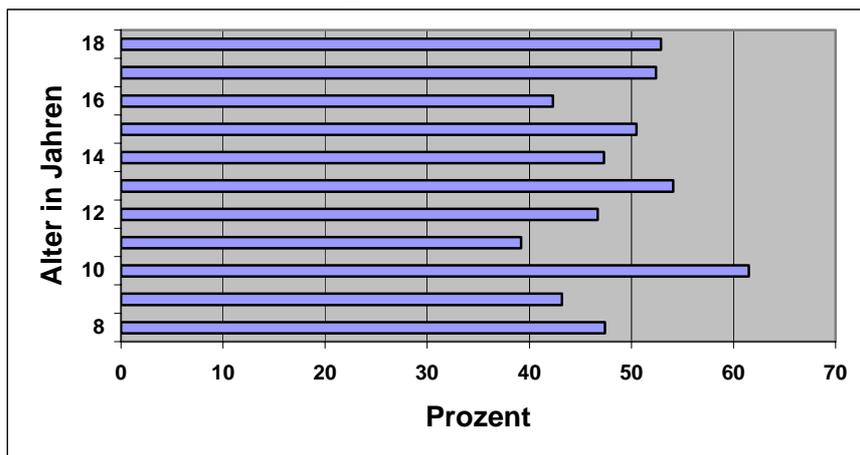
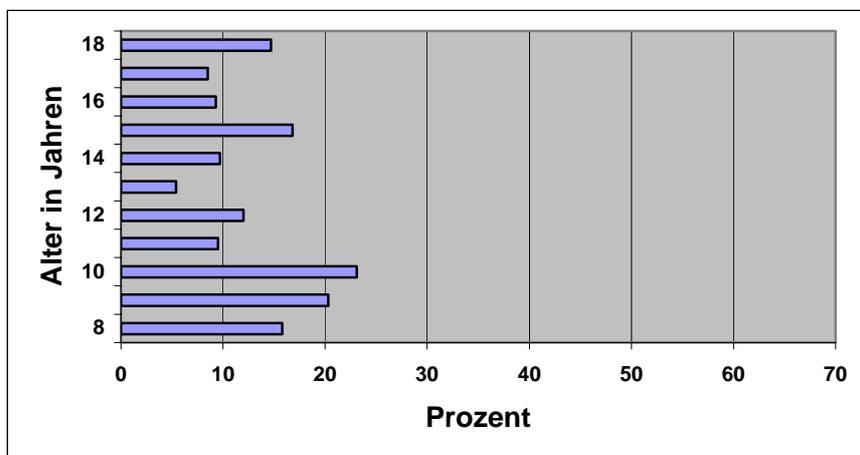


Abb. 19 Anteil muskulär abgeschwächter Schüler, Rückenmuskulatur, weibliche Probanden



Tab. 10 Kraftprüfung der Bauch- und Rückenmuskulatur, männliche Probanden

Alter	n	Bauchmuskulatur		Rückenmuskulatur	
		normal (%)	schwach (%)	normal (%)	schwach (%)
8	21	42.9	28.6	47.6	23.8
9	62	41.9	40.3	67.7	16.1
10	63	39.1	56.3	73.4	20.3
11	69	71	29	88.4	10.1
12	67	64.2	34.3	86.6	11.9
13	76	61.8	36.8	93.4	5.3
14	81	60.5	39.5	90.1	9.9
15	88	71.9	28.1	95.5	3.4
16	75	84	16	96	4
17	70	78.6	21.4	100	0
18	50	74	24	88	10

Abb. 20 Anteil der muskulär abgeschwächten Schüler, Bauchmuskulatur, männliche Probanden

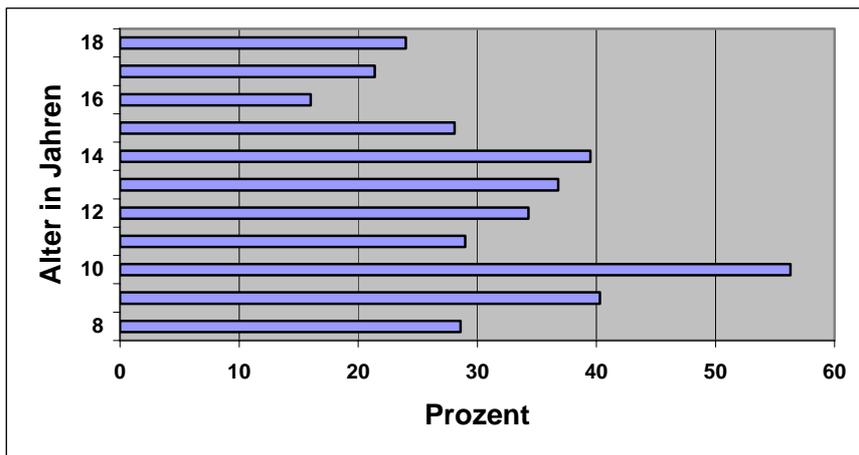
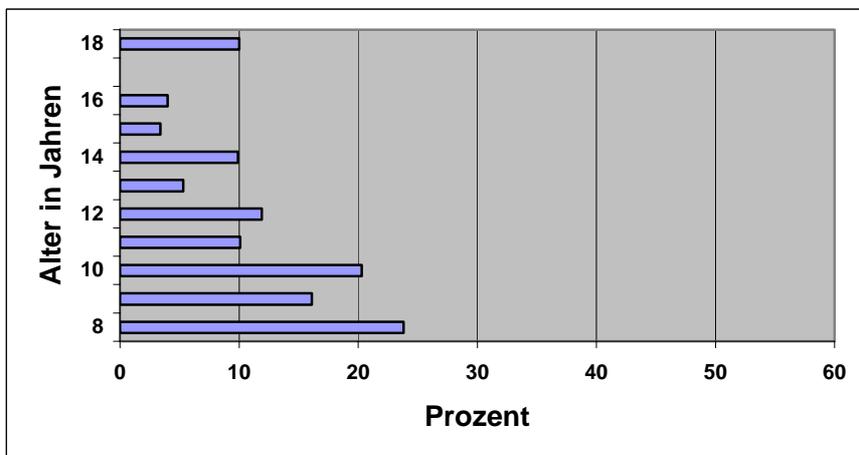


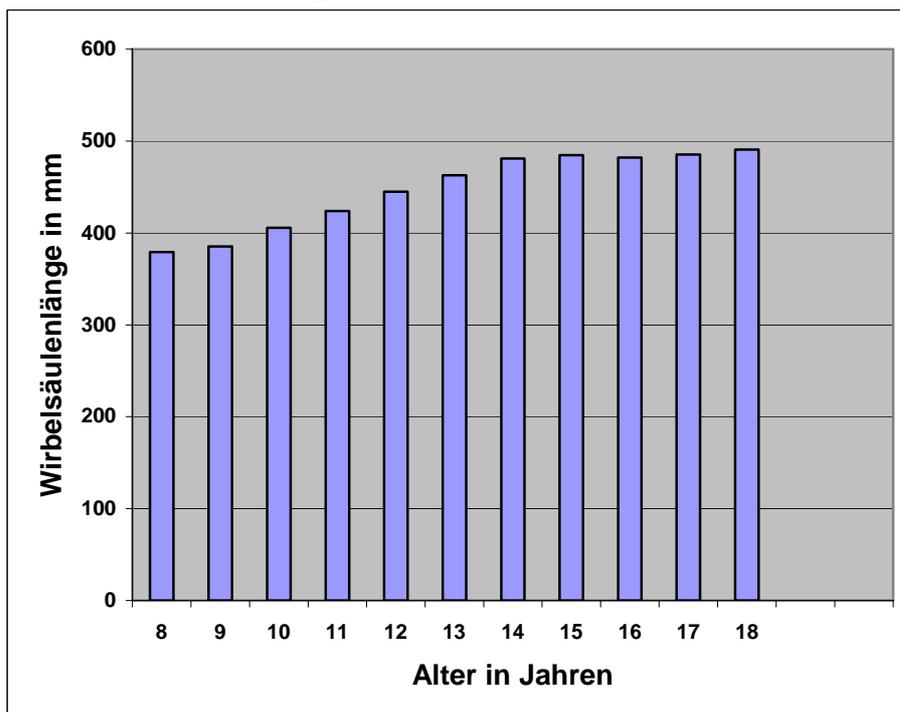
Abb. 21 Anteil der muskulär abgeschwächten Schüler, Rückenmuskulatur, männliche Probanden



Tab. 11 Wirbelsäulenlänge mit Taststift, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(mm)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	0.0333	379.40	21.04	338.16	420.64
9	73	0.7723	385.50	24.48	337.52	433.48
10	51	0.8080	405.60	29.10	348.56	462.64
11	74	0.1259	423.90	27.66	369.69	478.11
12	75	0.2279	444.70	29.47	386.94	502.46
13	74	0.6942	462.80	29.94	404.12	521.48
14	94	0.7957	481.15	23.20	435.68	526.62
15	95	0.6114	484.70	27.06	431.66	537.74
16	96	0.8194	482.00	25.24	432.53	531.47
17	81	0.9983	485.30	26.78	432.81	537.79
18	34	0.7032	490.70	34.71	422.67	558.73

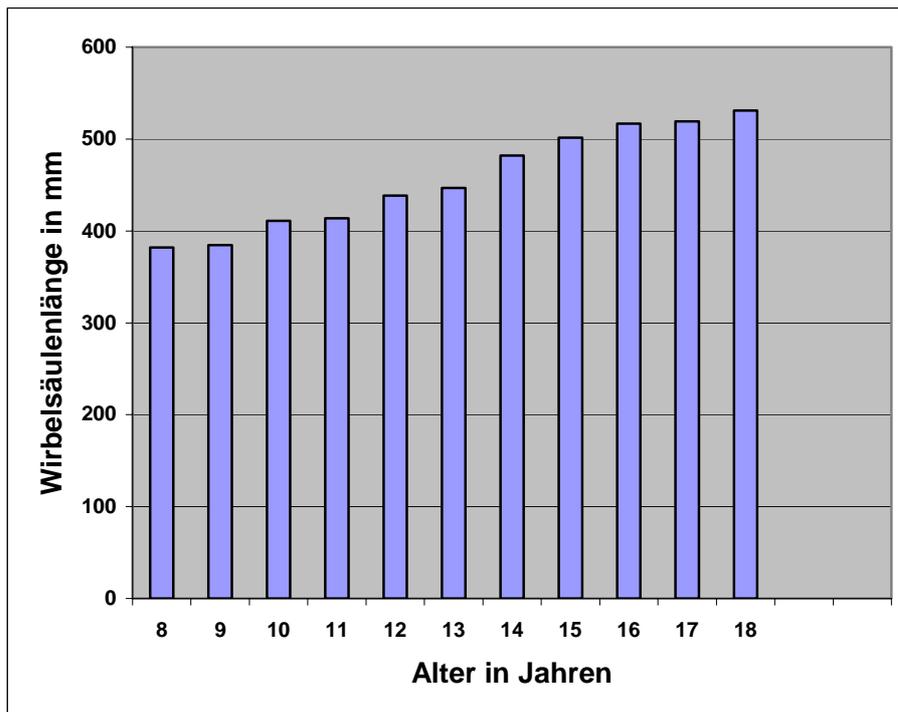
Abb. 22 Wirbelsäulenlänge mit Taststift, weibliche Probanden



Tab. 12 Wirbelsäulenlänge mit Taststift, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(mm)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	0.6146	382.10	36.67	310.23	453.97
9	62	0.7028	384.61	21.26	342.94	426.28
10	63	0.1481	411.00	27.47	357.16	464.84
11	69	0.6123	413.75	22.62	369.41	458.09
12	67	0.7030	438.49	30.70	378.32	498.66
13	76	0.7064	446.76	30.35	387.27	506.25
14	81	0.0187	482.06	32.39	418.58	545.54
15	88	0.1508	501.47	34.01	434.81	568.13
16	75	0.2718	516.85	28.28	461.42	572.28
17	70	0.3445	519.19	33.24	454.04	584.34
18	50	0.5498	531.16	32.93	466.62	595.70

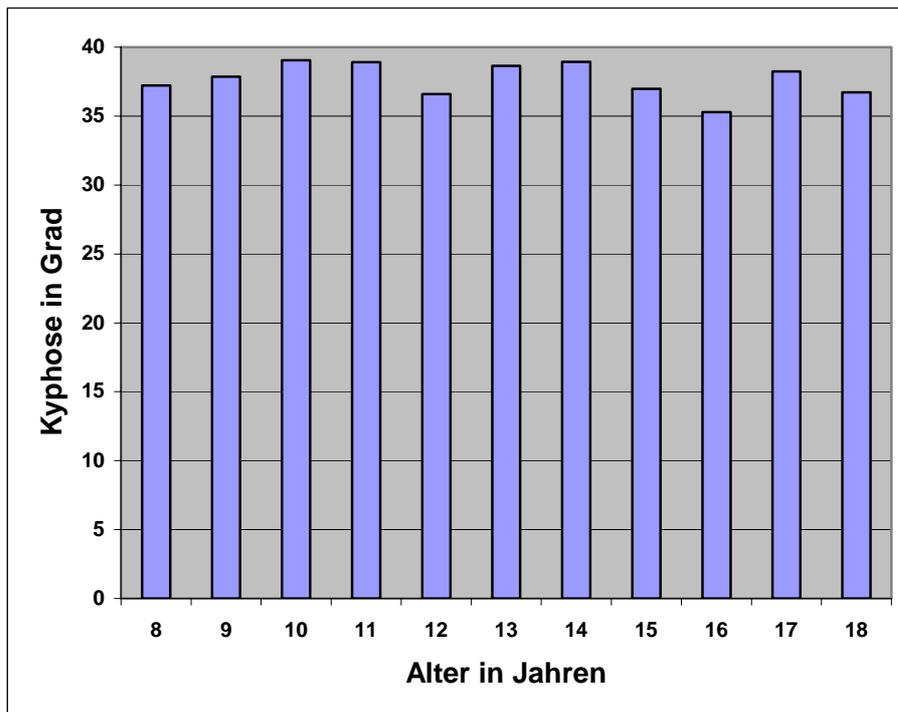
Abb. 23 Wirbelsäulenlänge mit Taststift, männliche Probanden



Tab. 13 Kyphose mit Taststift, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	0.2611	37.22	13.04	11.66	62.78
9	73	0.0456	37.86	11.57	15.18	60.54
10	51	0.4459	39.06	11.45	16.62	61.50
11	74	0.1447	38.91	11.83	15.72	62.10
12	75	0.1279	36.60	12.63	11.85	61.35
13	74	0.9189	38.64	10.76	17.55	59.73
14	94	0.2391	38.95	11.84	15.74	62.16
15	95	0.6263	36.97	12.71	12.06	61.88
16	96	0.8198	35.29	11.72	12.32	58.26
17	81	0.1120	38.25	11.04	16.61	59.89
18	34	0.4287	36.74	10.62	15.92	57.56

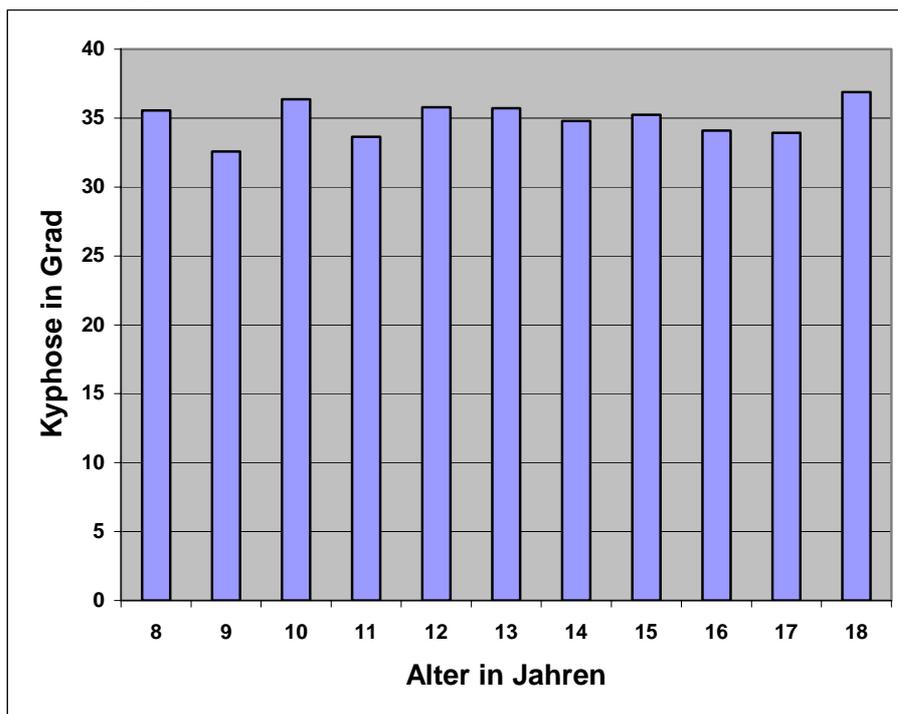
Abb. 24 Kyphose mit Taststift, weibliche Probanden



Tab. 14 Kyphose mit Taststift, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	0.1614	35.57	8.37	19.16	51.98
9	62	0.2646	32.59	11.78	9.50	55.68
10	63	0.3907	36.38	10.74	15.33	57.43
11	69	0.0618	33.65	13.18	7.82	59.48
12	67	0.2834	35.79	10.23	15.74	55.84
13	76	0.9563	35.72	11.41	13.36	58.08
14	81	0.6277	34.79	11.42	12.41	57.17
15	88	0.3972	35.25	9.66	16.32	54.18
16	75	0.1978	34.09	8.88	16.69	51.49
17	70	0.3365	33.94	11.07	12.24	55.64
18	50	0.2291	36.90	11.29	14.77	59.03

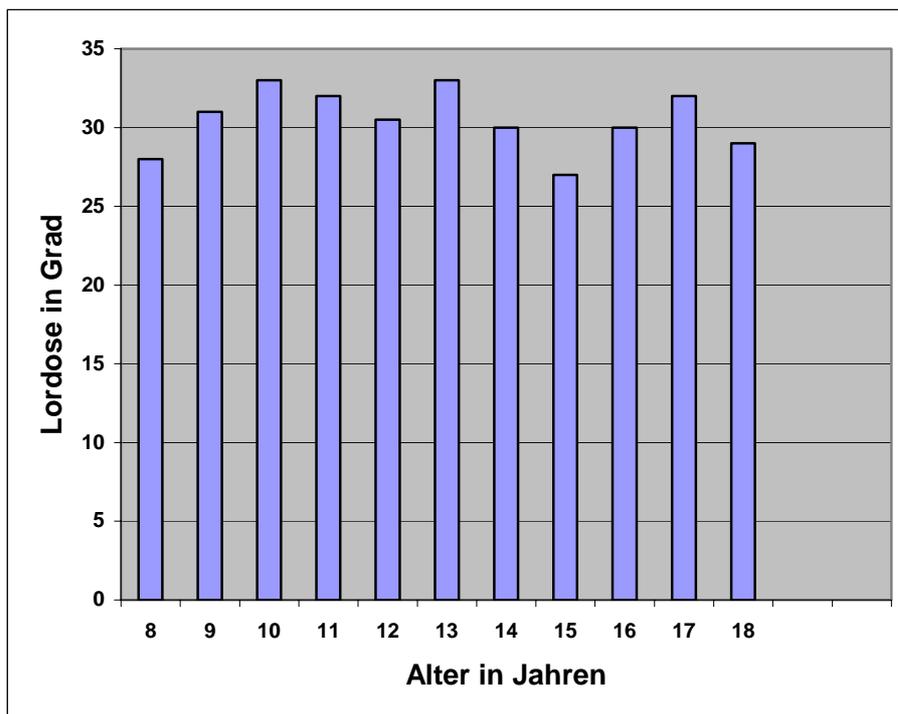
Abb. 25 Kyphose mit Taststift, männliche Probanden



Tab. 15 Lordose mit Taststift, weibliche Probanden (Median, 1. und 3. Quartil, 5. und 95. Perzentile)

Alter	n	Pr<W	Median (°)	Q1	Q3	5 %	95 %
8	18	0.0173	28	25	42	0	46
9	73	0.0001	31	25	40	0	44
10	51	0.0399	33	28	40	10	48
11	74	0.0008	32	24	40	5	47
12	75	0.0034	30.5	19.5	39	3	47
13	74	0.0001	33	26	38	10	45
14	94	0.0057	30	22	38	10	45
15	95	0.0001	27	17	34	0	45
16	96	0.0001	30	20	36	0	43
17	81	0.0761	32	24.5	37.5	12	46
18	34	0.1165	29	21	40	0	47

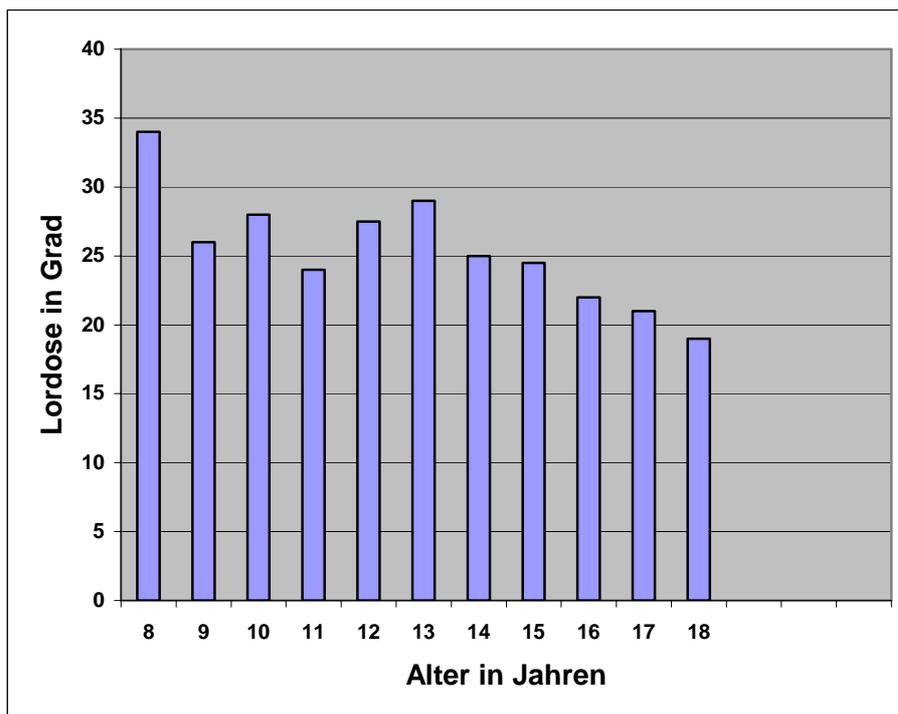
Abb. 26 Lordose mit Taststift, weibliche Probanden



Tab. 16 Lordose mit Taststift, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Median (°)	Q1	Q3	5 %	95 %
8	21	0.2438	34	26	43	10.5	47
9	62	0.3081	26	19	34	0	47
10	63	0.0641	28	19	34	3.5	43
11	69	0.0177	24	15	36	7	46
12	67	0.0272	27.5	21	37	11	42
13	76	0.0002	29	24	34	0	43
14	81	0.1743	25	18	34	9	42.5
15	88	0.0003	24.5	17.5	32	0	37
16	75	0.3716	22	15	29	0	40
17	70	0.0138	21	11	29	4	36
18	50	0.1789	19	13	27	0	34

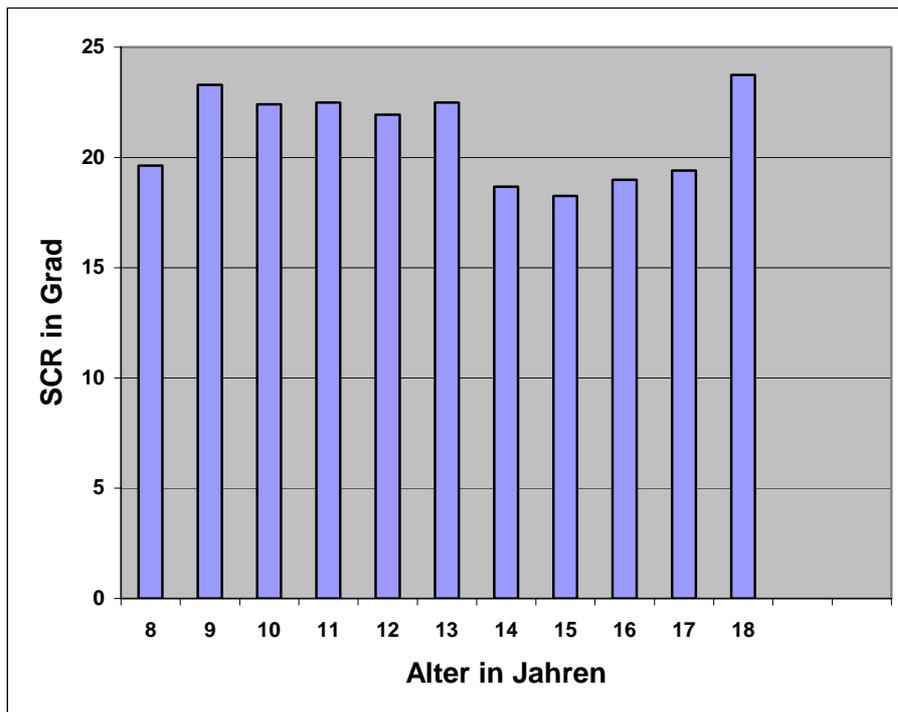
Abb. 27 Lordose mit Taststift, männliche Probanden



Tab. 17 Beckenkipfung (SCR) mit Taststift, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	0.4432	19.63	4.34	11.12	28.14
9	73	0.1994	23.30	6.68	10.21	36.39
10	51	0.8840	22.41	6.44	9.79	35.03
11	74	0.6604	22.50	5.93	10.88	34.12
12	75	0.8913	21.95	6.42	9.37	34.53
13	74	0.0037	22.49	7.29	8.20	36.78
14	94	0.9117	18.67	6.98	4.99	32.35
15	95	0.9112	18.26	7.78	3.01	33.51
16	96	0.4844	18.98	7.43	4.42	33.54
17	81	0.9211	19.41	8.37	3.00	35.82
18	34	0.2654	23.74	10.47	3.22	44.26

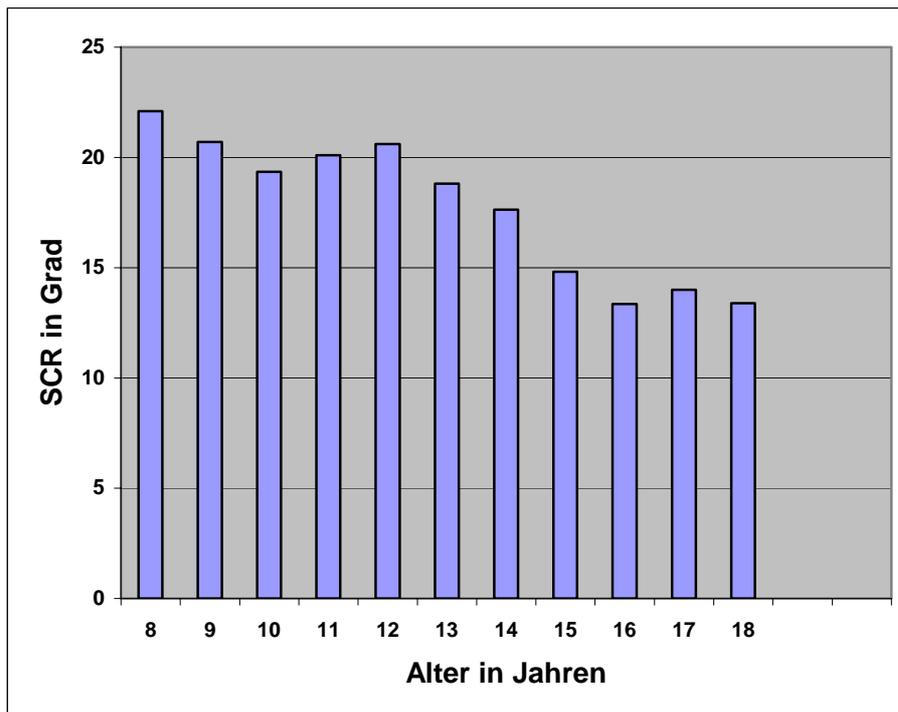
Abb. 28 Beckenkipfung mit Taststift, weibliche Probanden



Tab. 18 Beckenkipfung (SCR) mit Taststift, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	0.6295	22.10	8.10	6.22	37.98
9	62	0.4401	20.71	7.40	6.21	35.21
10	63	0.0472	19.35	5.89	7.81	30.89
11	69	0.2049	20.10	5.65	9.03	31.17
12	67	0.7892	20.60	6.56	7.74	33.46
13	76	0.3237	18.82	6.06	6.94	30.70
14	81	0.0936	17.64	5.46	6.94	28.34
15	88	0.2296	14.82	6.25	2.57	27.07
16	75	0.1409	13.35	5.59	2.39	24.31
17	70	0.0149	14.00	6.10	2.04	25.96
18	50	0.6123	13.40	7.69	-1.67	28.47

Abb. 29 Beckenkipfung mit Taststift, männliche Probanden



Tab. 19 Beckenkipfung zum Fußboden (Pelvic Obliquity) mit Taststift, weibliche Probanden

<b>Alter</b>	<b>n</b>	<b>Pr&lt;W</b>	<b>Median(°)</b>	<b>Q1</b>	<b>Q3</b>	<b>5 %</b>	<b>95 %</b>
8	18	0.0464	3	2	5	0	7
9	73	0.0001	2	1	4	0	6
10	51	0.0001	2	1	2	0	5
11	74	0.0001	1	1	3	0	6
12	75	0.0001	2	1	4	0	7
13	74	0.0001	2	1	3	0	5
14	94	0.0001	1	1	3	0	5
15	95	0.0001	1	1	2	0	4
16	96	0.0001	2	1	3	0	4
17	81	0.0001	1	1	3	0	5
18	34	0.0033	2	0	3	0	4

Tab. 20 Beckenverdrehung zum Fußboden (Pelvic Torsion), mit Taststift, weibliche Probanden

<b>Alter</b>	<b>n</b>	<b>Pr&lt;W</b>	<b>Median(°)</b>	<b>Q1</b>	<b>Q3</b>	<b>5 %</b>	<b>95 %</b>
8	18	0.1882	5	1	9	0	13
9	73	0.0085	6	3	9	0	14
10	51	0.0312	6	3	8	2	11
11	74	0.0008	5	2	9	1	13
12	75	0.0001	4	3	7	1	13
13	74	0.0001	3	1	5	0	10
14	94	0.0001	2	1	3	0	6
15	95	0.0001	2	1	4	0	10
16	96	0.0001	2	1	3	0	7
17	81	0.0001	2	1	4	0	6
18	34	0.0008	2	1	3	0	6

Tab. 21 Beckenkipfung zum Fußboden (Pelvic Obliquity) mit Taststift, männliche Probanden

<b>Alter</b>	<b>n</b>	<b>Pr&lt;W</b>	<b>Median(°)</b>	<b>Q1</b>	<b>Q3</b>	<b>5 %</b>	<b>95 %</b>
8	21	0.0390	2	1	4	0	5
9	62	0.0001	2	1	4	0	7
10	63	0.0001	2	1	3	0	5
11	69	0.0001	2	1	3	0	6
12	67	0.0001	2	1	3	0	6
13	76	0.0001	2	1	3	0	4
14	81	0.0001	2	1	3	0	5
15	88	0.0001	1.5	1	3	0	5
16	75	0.0001	2	1	3	0	5
17	70	0.0001	1	1	3	0	5
18	50	0.0001	2	1	3	0	5

Tab. 22 Beckenverdrehung zum Fußboden (Pelvic Torsion) mit Taststift, männliche Probanden

<b>Alter</b>	<b>n</b>	<b>Pr&lt;W</b>	<b>Median(°)</b>	<b>Q1</b>	<b>Q3</b>	<b>5 %</b>	<b>95 %</b>
8	21	0.0015	6	3	9	1	11
9	62	0.0416	5	3	8	0	11
10	63	0.0012	6	3	9	1	13
11	69	0.0461	7	4	10	1	14
12	67	0.0001	4	2	8	0	11
13	76	0.0001	4	2	7.5	0	11
14	81	0.0001	2	1	4	1	6
15	88	0.0001	2	1	4	0	8
16	75	0.0001	3	1	4	0	7
17	70	0.0001	3	1	5	0	8
18	50	0.0001	2	1	4	0	7

Tab. 23 Verkippung der Schultern zum Becken (Pelvic-Shoulder-Obliquity), mit Taststift, weibliche Probanden

<b>Alter</b>	<b>n</b>	<b>Pr&lt;W</b>	<b>Median(°)</b>	<b>Q1</b>	<b>Q3</b>	<b>5 %</b>	<b>95 %</b>
8	18	0.1078	3	1	5	0	10
9	73	0.0001	2	1	4	0	8
10	51	0.0013	2	1	4	0	6
11	74	0.0001	2	1	4	0	6
12	75	0.0001	2	1	4	0	7
13	74	0.0007	3	1	4	0	6
14	94	0.0001	2	1	4	0	5
15	95	0.0001	2	1	3	0	5
16	96	0.0001	2	1	3	0	6
17	81	0.0001	2	1	3	0	6
18	34	0.0059	2	2	4	1	5

Tab. 24 Verdrehung der Schultern zum Becken (Pelvic-Shoulder-Torsion), mit Taststift, weibliche Probanden

<b>Alter</b>	<b>n</b>	<b>Pr&lt;W</b>	<b>Median(°)</b>	<b>Q1</b>	<b>Q3</b>	<b>5 %</b>	<b>95 %</b>
8	18	0.2251	4	2	6	1	9
9	73	0.0001	3	2	5	0	8
10	51	0.0001	3	1	5	0	11
11	74	0.0001	3	1	4	0	8
12	75	0.0001	2	1	4	0	8
13	74	0.0001	2	1	4	0	8
14	94	0.0001	2	1	4	0	7
15	95	0.0001	2	1	4	0	8
16	96	0.0001	3	1	4	0	7
17	81	0.0001	2	1	4	0	7
18	34	0.0001	2	1	3	0	6

Tab. 25 Verkippung der Schultern zum Becken (Pelvic-Shoulder-Obliquity), mit Taststift, männliche Probanden

<b>Alter</b>	<b>n</b>	<b>Pr&lt;W</b>	<b>Median(°)</b>	<b>Q1</b>	<b>Q3</b>	<b>5 %</b>	<b>95 %</b>
8	21	0.0001	2	2	3	1	5
9	62	0.0001	2.5	1	4	0	9
10	63	0.0001	2	1	5	0	7
11	69	0.0001	2	1	4	0	7
12	67	0.0001	2	1	5	0	7
13	76	0.0017	3	1	4	0	6
14	81	0.0001	3	1	4	0	6
15	88	0.0001	2	1	4	0	5
16	75	0.0001	2	1	4	0	7
17	70	0.0001	2	1	4	0	7
18	50	0.0017	2	1	3	0	6

Tab. 26 Verdrehung der Schultern zum Becken (Pelvic-Shoulder-Torsion), mit Taststift, männliche Probanden

<b>Alter</b>	<b>n</b>	<b>Pr&lt;W</b>	<b>Median(°)</b>	<b>Q1</b>	<b>Q3</b>	<b>5 %</b>	<b>95 %</b>
8	21	0.0933	4	1	5	0	8
9	62	0.0001	2	1	4	0	10
10	63	0.0002	3	2	5	1	7
11	69	0.0001	2	1	4	0	7
12	67	0.0001	2	1	5	0	7
13	76	0.0004	3	2	4	0	6
14	81	0.0001	2	1	3	0	7
15	88	0.0001	2	1	3.5	0	6
16	75	0.0001	2	1	3	0	7
17	70	0.0001	2	1	4	0	7
18	50	0.0001	2	1	3	0	6

Tab. 27 Inklination zum Fußboden (Trunc Inclination), mit Taststift, weibliche Probanden

<b>Alter</b>	<b>n</b>	<b>Pr&lt;W</b>	<b>Median(°)</b>	<b>Q1</b>	<b>Q3</b>	<b>5 %</b>	<b>95 %</b>
8	18	0.0822	2	1	4	0	6
9	73	0.0001	3	1	4	0	10
10	51	0.0005	3	1	4	0	8
11	74	0.0001	2	1	4	0	7
12	75	0.0001	2	0	3	0	6
13	74	0.0001	2	1	4	0	8
14	94	0.0001	3	1	5	0	9
15	95	0.0001	3	1	5	0	8
16	96	0.0001	3	2	5	0	12
17	81	0.0001	3	1	4	0	8
18	34	0.0017	3	1	4	0	8

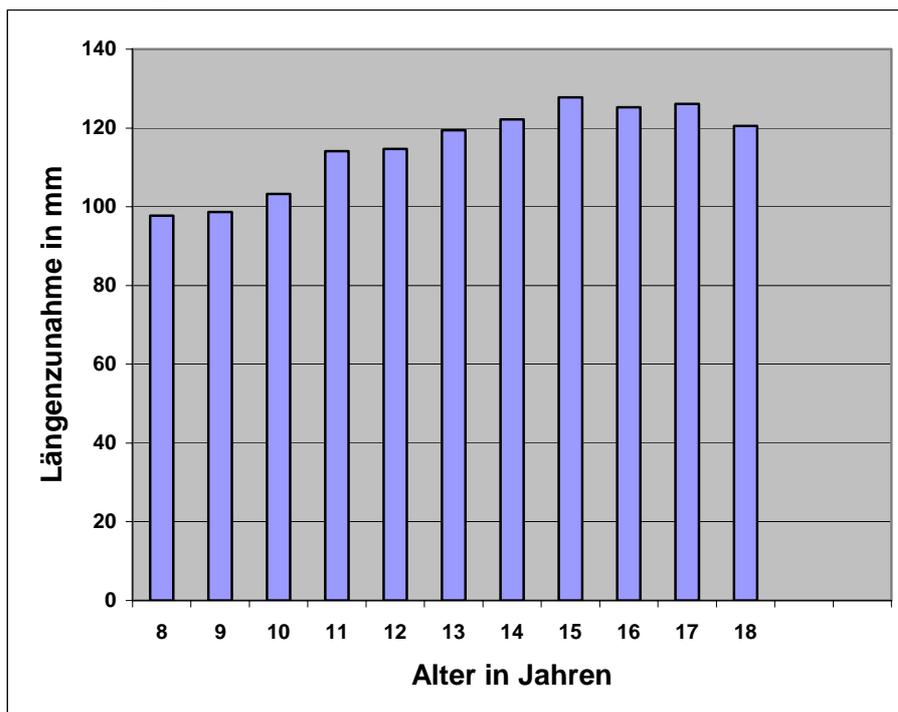
Tab. 28 Inklination zum Fußboden (Trunc Inclination), mit Taststift, männliche Probanden

<b>Alter</b>	<b>n</b>	<b>Pr&lt;W</b>	<b>Median(°)</b>	<b>Q1</b>	<b>Q3</b>	<b>5 %</b>	<b>95 %</b>
8	21	0.0241	4	1	5	0	8
9	62	0.0001	2	1	5	0	7
10	63	0.0001	3	1	4	0	7
11	69	0.0001	2	1	3	0	8
12	67	0.0001	2	0	4	0	6
13	76	0.0001	2	0	3	0	5
14	81	0.0001	2	1	4	0	7
15	88	0.0001	2	1	4	0	7
16	75	0.0002	3	1	5	0	8
17	70	0.0001	2	1	4	0	8
18	50	0.0001	3	1	4	0	13

Tab. 29 Längenzunahme in Flexion, mit Taststift, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(mm)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	0.0026	97.74	20.08	58.38	137.10
9	73	0.8735	98.68	15.03	69.22	128.14
10	51	0.6127	103.24	15.84	72.19	134.29
11	74	0.0915	114.16	18.23	78.43	149.89
12	75	0.1951	114.67	18.14	79.12	150.22
13	74	0.0185	119.42	13.16	93.63	145.21
14	94	0.8691	122.21	20.28	82.46	161.96
15	95	0.2340	127.78	23.54	81.64	173.92
16	96	0.5045	125.24	19.18	87.65	162.83
17	81	0.7356	126.12	18.45	89.96	162.28
18	34	0.3740	120.52	22.59	76.24	164.80

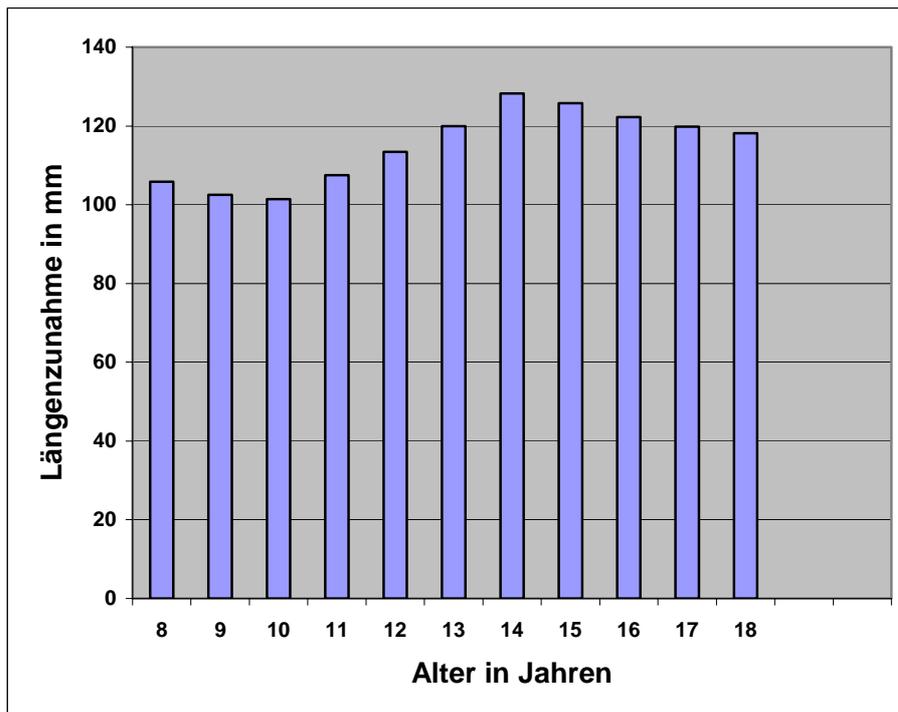
Abb. 30 Längenzunahme in Flexion, mit Taststift, weibliche Probanden



Tab. 30 Längenzunahme in Flexion, mit Taststift, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(mm)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	0.6617	105.81	12.98	80.37	131.25
9	62	0.5376	102.55	16.08	71.03	134.07
10	63	0.2851	101.46	15.79	70.51	132.41
11	69	0.4598	107.49	15.54	77.03	137.95
12	67	0.1960	113.42	19.71	74.79	152.05
13	76	0.7518	120.00	16.24	88.17	151.83
14	81	0.6861	128.21	20.22	88.58	167.84
15	88	0.5338	125.81	22.02	82.65	168.97
16	75	0.8665	122.29	24.84	73.60	170.98
17	70	0.2988	119.83	25.42	70.01	169.65
18	50	0.1191	118.16	29.41	60.52	175.80

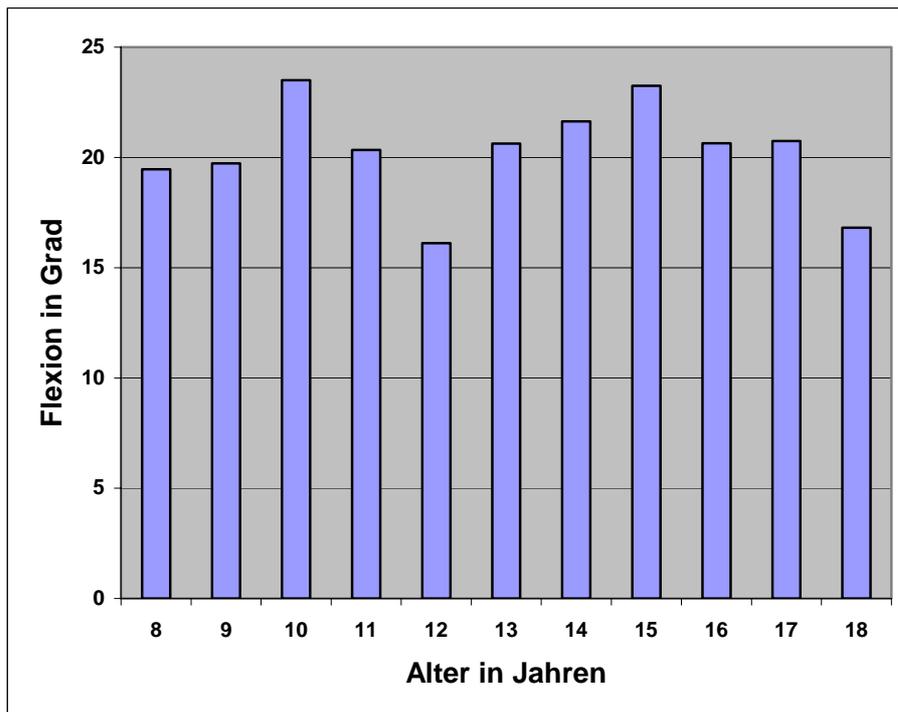
Abb. 31 Längenzunahme in Flexion, mit Taststift, männliche Probanden



Tab. 31 Thorakale Flexion mit Taststift, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	0.4476	19.47	15.27	-10.46	49.40
9	73	0.2529	19.73	17.40	-14.37	53.83
10	51	0.8106	23.51	18.78	-13.30	60.32
11	74	0.1949	20.34	18.90	-16.70	57.38
12	75	0.4339	16.11	18.37	-19.90	52.12
13	74	0.4319	20.64	18.96	-16.52	57.80
14	94	0.9731	21.64	15.07	-7.90	51.18
15	95	0.8494	23.25	18.48	-12.97	59.47
16	96	0.2833	20.65	16.19	-11.08	52.38
17	81	0.1146	20.74	15.17	-8.99	50.47
18	34	0.2776	16.82	18.41	-19.26	52.90

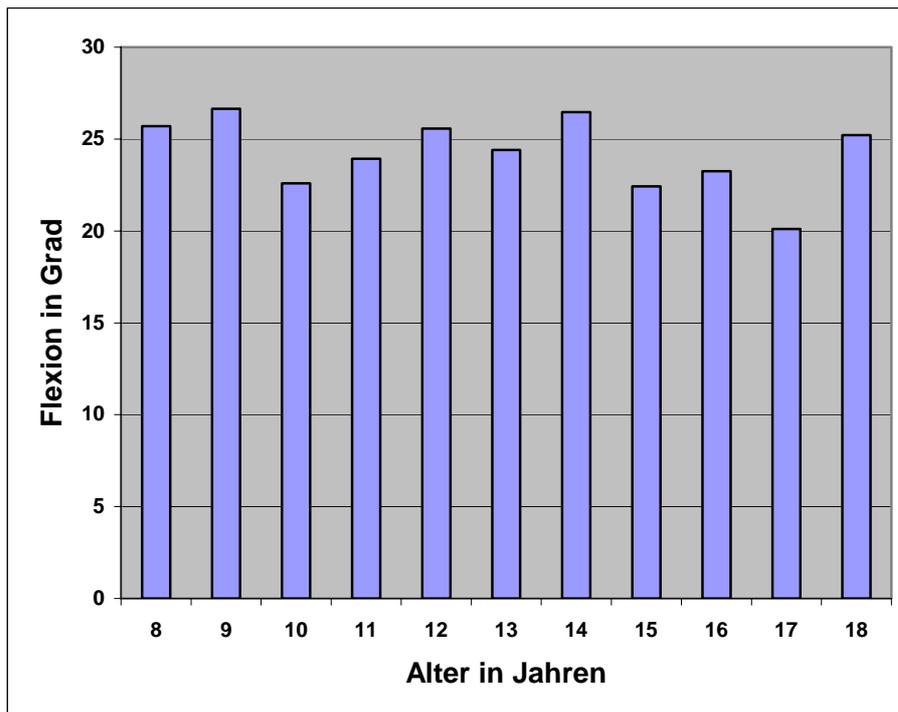
Abb. 32 Thorakale Flexion mit Taststift, weibliche Probanden



Tab. 32 Thorakale Flexion mit Taststift, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	0.2961	25.71	14.56	-2.83	54.25
9	62	0.5825	26.66	17.08	-6.82	60.14
10	63	0.2032	22.60	12.16	-1.23	46.43
11	69	0.5864	23.94	18.10	-11.54	59.42
12	67	0.5220	25.58	15.75	-5.29	56.45
13	76	0.1264	24.41	19.26	-13.34	62.16
14	81	0.8982	26.47	19.02	-10.81	63.75
15	88	0.0768	22.43	21.24	-19.20	64.06
16	75	0.3974	23.25	15.94	-7.99	54.49
17	70	0.7431	20.12	21.64	-22.29	62.53
18	50	0.0766	25.22	18.52	-11.08	61.52

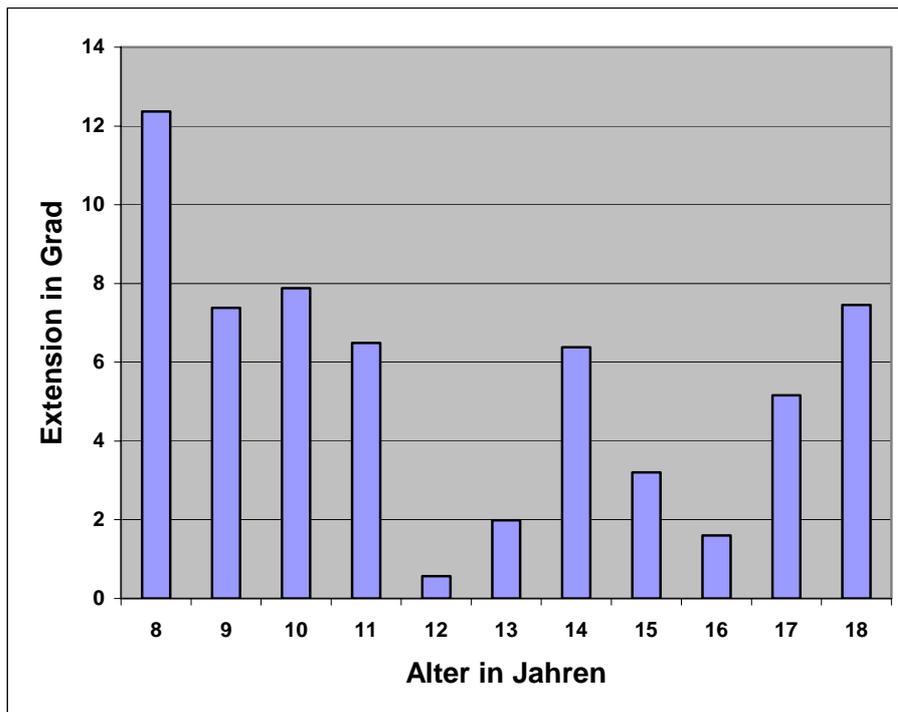
Abb. 33 Thorakale Flexion mit Taststift, männliche Probanden



Tab. 33 Thorakale Extension mit Taststift, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	0.5862	12.37	28.53	-43.55	68.29
9	73	0.8119	7.38	26.70	-44.95	59.71
10	51	0.7416	7.88	23.51	-38.20	53.96
11	74	0.6489	6.49	24.24	-41.02	54.00
12	75	0.4477	0.57	22.56	-43.65	44.79
13	74	0.6163	1.99	21.45	-40.05	44.03
14	94	0.2938	6.38	18.68	-30.23	42.99
15	95	0.0051	3.20	21.36	-38.67	45.07
16	96	0.8941	1.60	16.54	-30.82	34.02
17	81	0.7247	5.16	19.41	-32.88	43.20
18	34	0.1410	7.45	20.61	-32.95	47.85

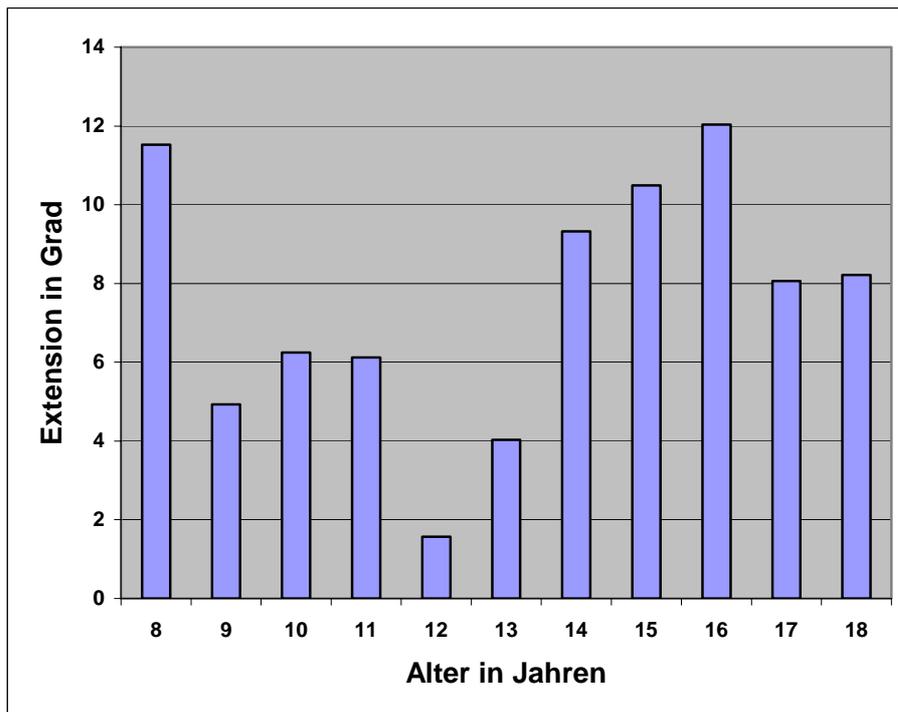
Abb. 34 Thorakale Extension mit Taststift, weibliche Probanden



Tab. 34 Thorakale Extension mit Taststift, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	0.8391	11.52	28.58	-44.50	67.54
9	62	0.3141	4.93	28.00	-49.95	59.81
10	63	0.7653	6.25	27.29	-47.24	59.74
11	69	0.7846	6.12	26.35	-45.53	57.77
12	67	0.1141	1.57	20.90	-39.39	42.53
13	76	0.6937	4.03	23.44	-41.91	49.97
14	81	0.8015	9.32	20.76	-31.37	50.01
15	88	0.6392	10.49	20.17	-29.04	50.02
16	75	0.0647	12.04	16.28	-19.87	43.95
17	70	0.9841	8.06	15.26	-21.85	37.97
18	50	0.1440	8.22	19.60	-30.20	46.64

Abb. 35 Thorakale Extension mit Taststift, männliche Probanden



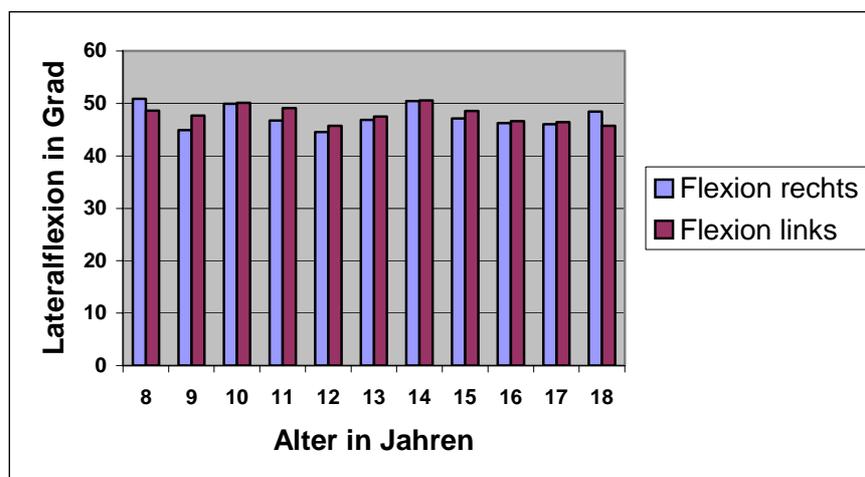
Tab. 35 Thorakale Flexion nach rechts, mit Taststift, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	0.5786	50.89	9.99	31.31	70.47
9	73	0.5600	44.89	16.60	12.35	77.43
10	51	0.6629	49.92	19.13	12.43	87.41
11	74	0.1595	46.76	20.78	6.03	87.49
12	75	0.7764	44.57	18.31	8.68	80.46
13	74	0.0009	46.86	18.16	11.27	82.45
14	94	0.3805	50.46	15.85	19.39	81.53
15	95	0.1412	47.15	18.79	10.32	83.98
16	96	0.6195	46.23	17.06	12.79	79.67
17	81	0.1990	46.05	16.26	14.18	77.92
18	34	0.4812	48.44	15.79	17.49	79.39

Tab. 36 Thorakale Flexion nach links, mit Taststift, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	0.0919	48.65	22.10	31.31	70.47
9	73	0.0898	47.69	21.46	12.35	77.43
10	51	0.1058	50.12	16.99	12.43	87.41
11	74	0.3734	49.09	19.56	6.03	87.49
12	75	0.2828	45.70	21.59	8.68	80.46
13	74	0.6497	47.48	18.12	11.27	82.45
14	94	0.2290	50.57	17.97	19.39	81.53
15	95	0.3380	48.55	15.87	10.32	83.98
16	96	0.4241	46.63	17.29	12.79	79.67
17	81	0.2059	46.45	22.68	14.18	77.92
18	34	0.0335	45.70	19.88	17.49	79.39

Abb. 36 Thorakale Flexion nach rechts und links, mit Taststift, weibliche Probanden



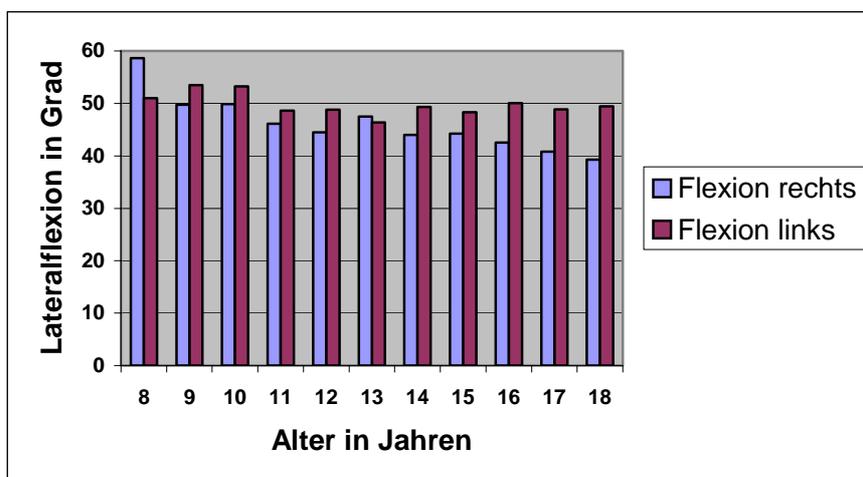
Tab. 37 Thorakale Flexion nach rechts, mit Taststift, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	0.8108	58.65	17.54	24.27	93.03
9	62	0.0008	49.76	20.66	9.27	90.25
10	63	0.1456	49.87	19.17	12.30	87.44
11	69	0.1454	46.16	18.63	9.65	82.67
12	67	0.6138	44.50	18.45	8.34	80.66
13	76	0.7455	47.48	16.01	16.10	78.86
14	81	0.6078	44.02	16.21	12.25	75.79
15	88	0.5082	44.24	19.81	5.41	83.07
16	75	0.8025	42.53	18.05	7.15	77.91
17	70	0.7605	40.81	17.94	5.65	75.97
18	50	0.7747	39.26	16.42	7.08	71.44

Tab. 38 Thorakale Flexion nach links, mit Taststift, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	0.1857	51.00	18.29	24.27	93.03
9	62	0.0020	53.48	19.07	9.27	90.25
10	63	0.5915	53.26	18.16	12.30	87.44
11	69	0.2311	48.62	19.53	9.65	82.67
12	67	0.5478	48.83	18.41	8.34	80.66
13	76	0.7752	46.39	16.37	16.10	78.86
14	81	0.1919	49.36	18.66	12.25	75.79
15	88	0.0843	48.36	20.59	5.41	83.07
16	75	0.0587	50.05	13.33	7.15	77.91
17	70	0.0184	48.86	18.09	5.65	75.97
18	50	0.2087	49.48	16.49	7.08	71.44

Abb. 37 Thorakale Flexion nach rechts und links, mit Taststift, männliche Probanden



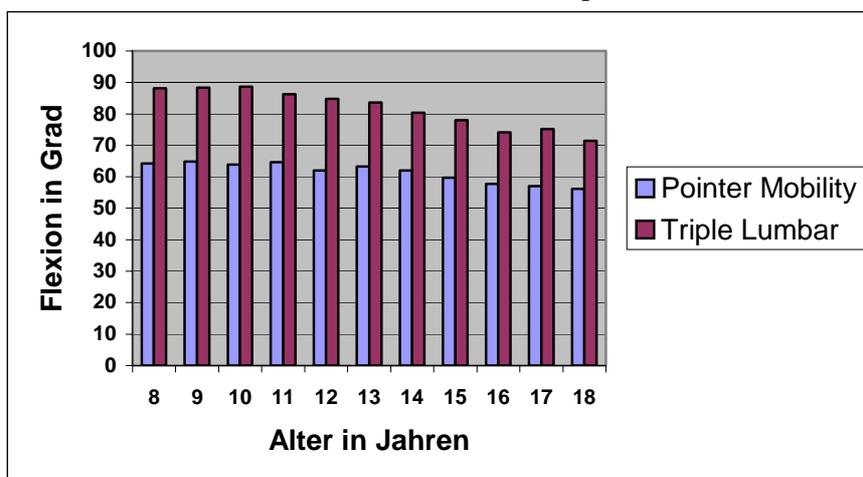
Tab. 39 Lumbale Flexion mit Taststift, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	0.1527	64.26	9.27	46.09	82.43
9	73	0.0102	64.82	8.77	47.63	82.01
10	51	0.9954	63.90	9.85	44.59	83.21
11	74	0.8809	64.67	8.06	48.87	80.47
12	75	0.8304	61.96	9.64	43.07	80.85
13	74	0.9933	63.27	9.72	44.22	82.32
14	94	0.6837	62.00	9.88	42.64	81.36
15	95	0.7721	59.77	8.59	42.93	76.61
16	96	0.3917	57.79	8.14	41.84	73.74
17	81	0.1807	57.10	7.96	41.50	72.70
18	34	0.1617	56.15	9.24	38.04	74.26

Tab. 40 Lumbale Flexion mit Triple Lumbar, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	0.4825	88.16	14.42	46.09	82.43
9	73	0.6415	88.34	9.25	47.63	82.01
10	51	0.2621	88.67	11.68	44.59	83.21
11	74	0.9671	86.26	9.56	48.87	80.47
12	75	0.1726	84.75	9.33	43.07	80.85
13	74	0.3133	83.63	10.58	44.22	82.32
14	94	0.9741	80.36	9.63	42.64	81.36
15	95	0.2768	77.97	8.52	42.93	76.61
16	96	0.6064	74.10	8.68	41.84	73.74
17	81	0.1957	75.18	9.25	41.50	72.70
18	34	0.1019	71.48	8.47	38.04	74.26

Abb. 38 Lumbale Flexion mit Taststift und Triple Lumbar, weibliche Probanden



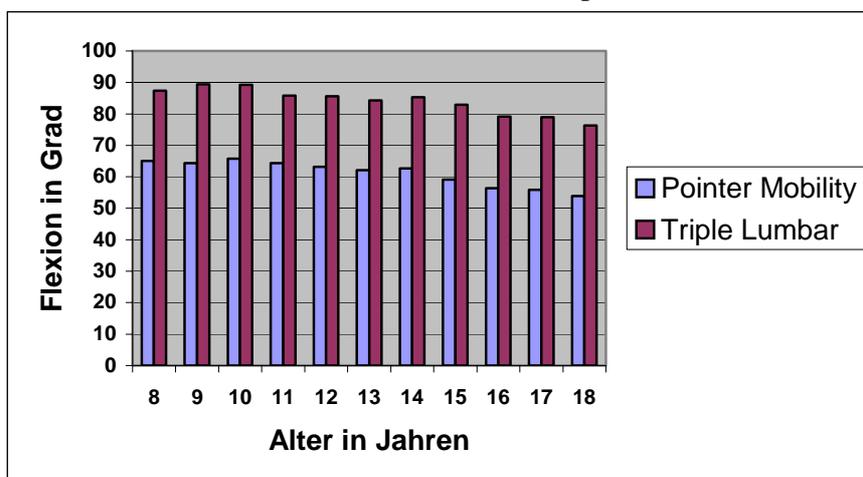
Tab. 41 Lumbale Flexion mit Taststift, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	0.9972	65.05	8.82	47.76	82.34
9	62	0.2676	64.32	8.57	47.52	81.12
10	63	0.2379	65.73	8.12	49.81	81.65
11	69	0.2855	64.36	7.99	48.70	80.02
12	67	0.8905	63.18	8.43	46.66	79.70
13	76	0.8255	62.09	8.25	45.92	78.26
14	81	0.3851	62.64	8.41	46.16	79.12
15	88	0.3928	59.13	7.92	43.61	74.65
16	75	0.1321	56.35	7.79	41.08	71.62
17	70	0.3794	55.88	9.73	36.81	74.95
18	50	0.1756	53.94	9.14	36.03	71.85

Tab. 42 Lumbale Flexion mit Triple Lumbar, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	0.7848	87.38	10.38	47.76	82.34
9	62	0.2790	89.42	9.67	47.52	81.12
10	63	0.1614	89.21	9.69	49.81	81.65
11	69	0.9784	85.77	9.86	48.70	80.02
12	67	0.1573	85.61	7.81	46.66	79.70
13	76	0.5457	84.32	8.80	45.92	78.26
14	81	0.3783	85.34	7.78	46.16	79.12
15	88	0.7235	82.94	8.39	43.61	74.65
16	75	0.4945	79.15	7.74	41.08	71.62
17	70	0.1722	78.99	7.98	36.81	74.95
18	50	0.8834	76.26	9.12	36.03	71.85

Abb. 39 Lumbale Flexion mit Taststift und Triple Lumbar, männliche Probanden



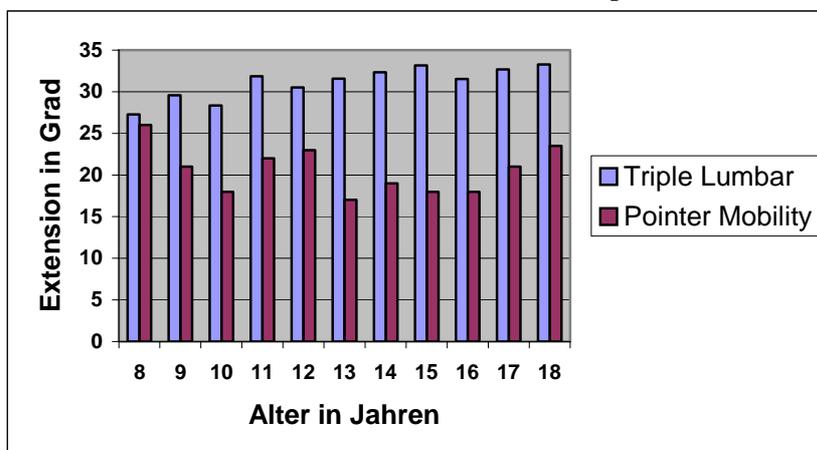
Tab. 43 Lumbale Extension mit Taststift, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Median(°)	Q1	Q3	5 %	95 %
8	18	0.0521	26	20	31	-1	36
9	73	0.2739	21	14	27	5	36
10	51	0.8137	18	13	25	2	38
11	74	0.0699	22	15	26	7	39
12	75	0.0031	23	17	29	6	40
13	74	0.0031	17	11	24	3	37
14	94	0.0001	19	13	27	1	42
15	95	0.0001	18	9	23	-11	36
16	96	0.0112	18	13	25.5	4	42
17	81	0.0001	21	16.5	28	4	41.5
18	34	0.5957	23.5	13	29	-12	53

Tab. 44 Lumbale Extension mit Triple Lumbar, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	0.5627	27.26	7.75	12.07	42.45
9	73	0.2858	29.60	8.39	13.16	46.04
10	51	0.8388	28.35	9.66	9.42	47.28
11	74	0.0030	31.86	10.76	10.77	52.95
12	75	0.3998	30.52	9.27	12.35	48.69
13	74	0.1216	31.58	10.49	11.02	52.14
14	94	0.3871	32.35	9.49	13.75	50.95
15	95	0.0477	33.18	10.23	13.13	53.23
16	96	0.5809	31.53	9.93	12.07	50.99
17	81	0.5031	32.69	9.64	13.80	51.58
18	34	0.9162	33.27	11.18	11.36	55.18

Abb. 40 Lumbale Extension mit Taststift und Triple Lumbar, weibliche Probanden



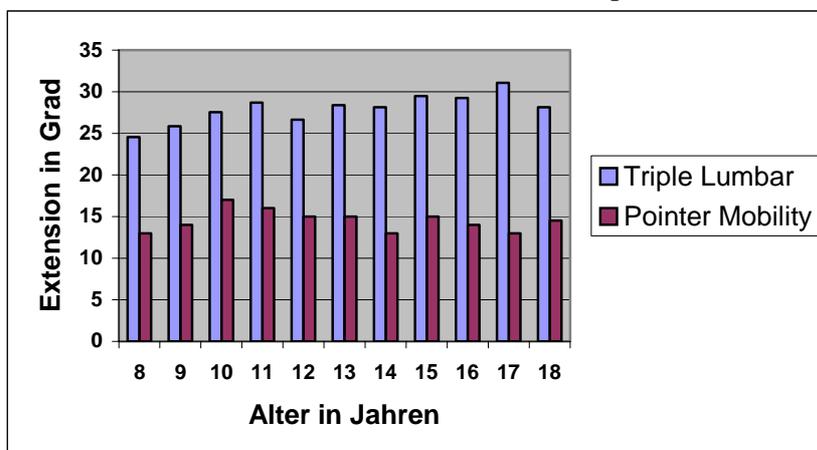
Tab. 45 Lumbale Extension mit Taststift, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Median(°)	Q1	Q3	5 %	95 %
8	21	0.8872	13	9	17	-1	25
9	62	0.5988	14	8	22	3	31
10	63	0.7685	17	14	23	5	33
11	69	0.3258	16	10.5	24.5	1	34
12	67	0.3203	15	10	22	0	29
13	76	0.5381	15	10	20.5	3	30
14	81	0.0141	13	8	18	0.5	32
15	88	0.0003	15	8	20	3	27
16	75	0.0001	14	8	19	3	27
17	70	0.0870	13	9	19	0	29
18	50	0.0905	14.5	7	21	1	29

Tab. 46 Lumbale Extension mit Triple Lumbar, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	0.0408	24.57	9.72	5.52	43.62
9	62	0.4240	25.84	7.60	10.94	40.74
10	63	0.0001	27.52	10.60	6.74	48.30
11	69	0.1654	28.68	8.49	12.04	45.32
12	67	0.5873	26.65	7.53	11.89	41.41
13	76	0.0279	28.38	8.64	11.45	45.31
14	81	0.1845	28.13	8.19	12.08	44.18
15	88	0.4251	29.47	8.29	13.22	45.72
16	75	0.4440	29.27	9.00	11.63	46.91
17	70	0.9394	31.09	10.30	10.90	51.28
18	50	0.2349	28.14	8.81	10.87	45.41

Abb. 41 Lumbale Extension mit Taststift und Triple Lumbar, männliche Probanden



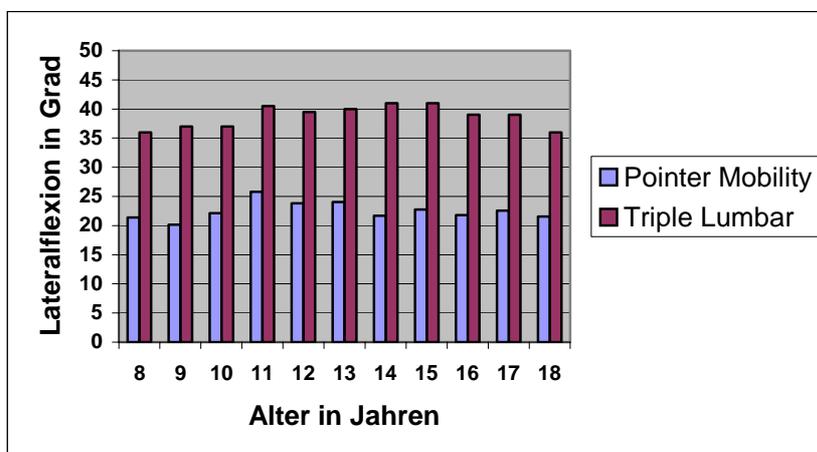
Tab. 47 Lumbale Lateralflexion nach rechts, mit Taststift, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	0.0659	21.35	8.05	5.57	37.13
9	73	0.2216	20.16	7.91	4.66	35.66
10	51	0.0359	22.14	8.56	5.36	38.92
11	74	0.3419	25.81	7.41	11.29	40.33
12	75	0.4601	23.85	7.96	8.25	39.45
13	74	0.4301	24.05	7.63	9.10	39.00
14	94	0.5228	21.67	7.15	7.66	35.68
15	95	0.6426	22.75	7.62	7.81	37.69
16	96	0.8851	21.81	6.95	8.19	35.43
17	81	0.2341	22.53	7.25	8.32	36.74
18	34	0.9694	21.56	11.09	-0.18	43.30

Tab. 48 Lumbale Lateralflexion nach rechts, mit Triple Lumbar, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Median (°)	Q1	Q3	5 %	95 %
8	18	0.9586	36	32	40	23	47
9	73	0.1515	37	34	40	27	47
10	51	0.3802	37	34	42	26	46
11	74	0.7514	40.5	35	44	27	50
12	75	0.0910	39.5	33	43	30	50
13	74	0.0481	40	35	46	29	52
14	94	0.0001	41	36	46	29	52
15	95	0.7881	41	36	45	29	52
16	96	0.5418	39	34	43	29	50
17	81	0.1159	39	35	43	31	47
18	34	0.0423	36	32	39	26	54

Abb. 42 Lumbale Lateralflexion nach rechts, mit Taststift und Triple Lumbar, weibliche Probanden



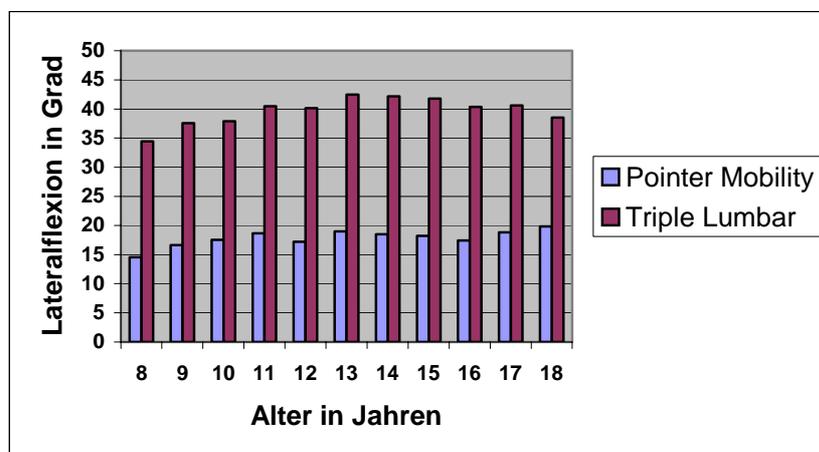
Tab. 49 Lumbale Lateralflexion nach links, mit Taststift, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	0.1254	14.53	7.90	-0.95	30.01
9	73	0.4472	16.62	9.33	-1.67	34.91
10	51	0.8222	17.54	7.61	2.62	32.46
11	74	0.5669	18.64	8.52	1.94	35.34
12	75	0.2104	17.21	7.65	2.22	32.20
13	74	0.2438	18.95	7.94	3.39	34.51
14	94	0.0651	18.52	7.46	3.90	33.14
15	95	0.1033	18.22	7.64	3.25	33.19
16	96	0.6806	17.45	7.65	2.456	32.44
17	81	0.1293	18.79	7.38	4.33	33.25
18	34	0.8095	19.82	7.93	4.28	35.36

Tab. 50 Lumbale Lateralflexion nach links, mit Triple Lumbar, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	0.5549	34.42	6.59	-0.95	30.01
9	73	0.0643	37.58	7.38	-1.67	34.91
10	51	0.9398	37.92	7.04	2.62	32.46
11	74	0.4927	40.47	7.24	1.94	35.34
12	75	0.3275	40.12	6.26	2.22	32.2
13	74	0.0947	42.51	7.37	3.39	34.51
14	94	0.0001	42.15	8.46	3.80	33.14
15	95	0.9409	41.79	7.86	3.25	33.19
16	96	0.8844	40.37	6.30	2.46	32.44
17	81	0.5781	40.64	6.09	4.33	33.25
18	34	0.0338	38.56	7.79	4.28	35.36

Abb. 43 Lumbale Lateralflexion nach links, mit Taststift und Triple Lumbar, weibliche Probanden



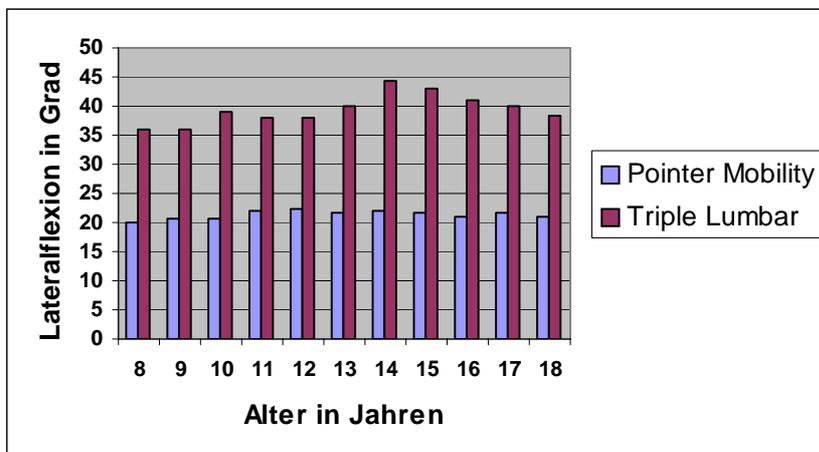
Tab. 51 Lumbale Lateralflexion nach rechts, mit Taststift, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	0.1909	20.10	6.04	8.26	31.94
9	62	0.7771	20.76	9.21	2.71	38.81
10	63	0.0236	20.65	7.54	5.87	35.43
11	69	0.1315	21.96	7.53	7.20	36.72
12	67	0.7319	22.33	8.60	5.47	39.19
13	76	0.1176	21.83	7.02	8.07	35.59
14	81	0.5413	22.07	5.94	10.43	33.71
15	88	0.4955	21.83	7.99	6.17	37.49
16	75	0.1386	21.12	6.44	8.50	33.74
17	70	0.1088	21.57	7.47	6.93	36.21
18	50	0.9987	21.16	8.41	4.68	37.64

Tab. 52 Lumbale Lateralflexion nach rechts, mit Triple Lumbar, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Median(°)	Q1	Q3	5 %	95 %
8	21	0.3852	36	34	40	26	43
9	62	0.0992	36	32	39	29	48
10	63	0.7581	39	34	43	30	47
11	69	0.2645	38	32	42	24	47
12	67	0.0083	38	32	42	29	50
13	76	0.3649	40	36	44	29	52
14	81	0.0175	44.5	41	48	33	52
15	88	0.0001	43	38	48	30	52
16	75	0.9013	41	37	45	32	50
17	70	0.2687	40	35	45	32	51
18	50	0.5461	38.5	34	43	29	48

Abb. 44 Lumbale Lateralflexion nach rechts, mit Taststift und Triple Lumbar, männliche Probanden



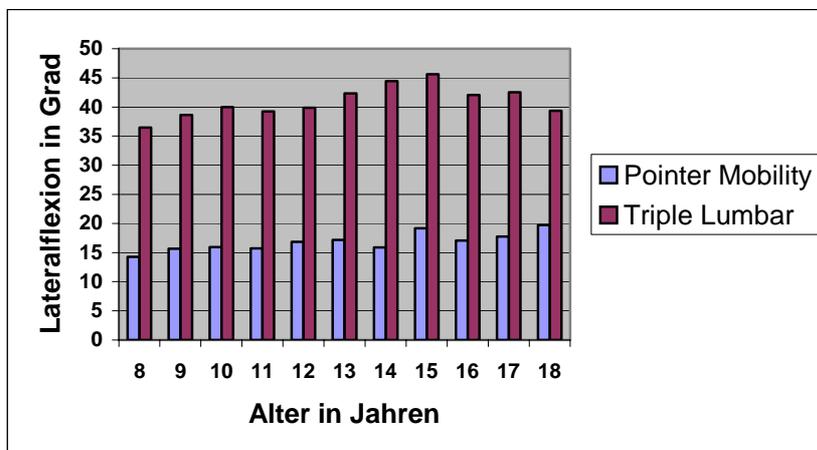
Tab. 53 Lumbale Lateralflexion nach links, mit Taststift, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	0.7990	14.29	7.24	0.10	28.48
9	62	0.9297	15.66	7.20	1.55	29.77
10	63	0.1032	15.92	7.22	1.77	30.07
11	69	0.4086	15.74	7.37	1.29	30.19
12	67	0.6218	16.82	7.39	2.34	31.30
13	76	0.6417	17.14	7.67	2.11	32.17
14	81	0.8841	15.89	6.54	3.07	28.71
15	88	0.1170	19.19	6.17	7.10	31.28
16	75	0.4776	17.04	5.70	5.87	28.21
17	70	0.6417	17.74	6.10	5.78	29.70
18	50	0.3392	19.72	6.40	7.18	32.26

Tab. 54 Lumbale Lateralflexion nach links, mit Triple Lumbar, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	0.4498	36.48	6.76	0.10	28.48
9	62	0.7334	38.63	6.93	1.55	29.77
10	63	0.2792	40.00	7.01	1.77	30.07
11	69	0.5878	39.22	6.97	1.29	30.19
12	67	0.0001	39.86	8.24	2.34	31.30
13	76	0.0765	42.33	7.13	2.11	32.17
14	81	0.8895	44.43	5.78	3.07	28.71
15	88	0.7777	45.63	6.31	7.10	31.28
16	75	0.1751	42.08	6.30	5.87	28.21
17	70	0.3776	42.52	5.40	5.78	29.70
18	50	0.0685	39.36	6.81	7.18	32.26

Abb. 45 Lumbale Lateralflexion nach links, mit Taststift und Triple Lumbar, männliche Probanden



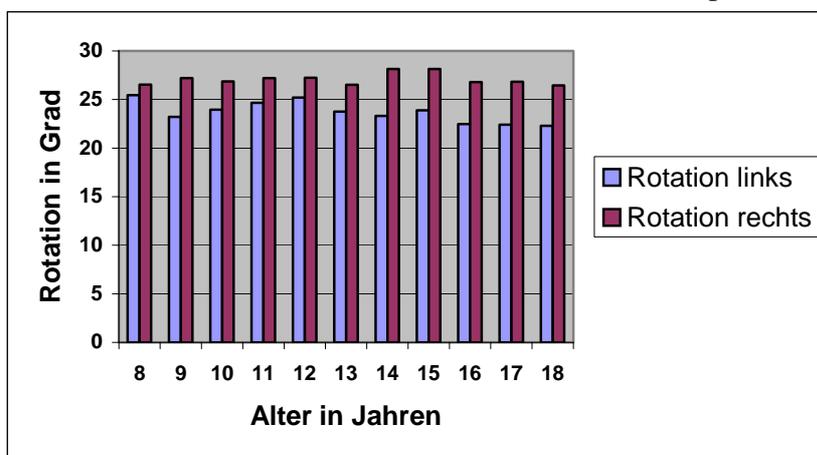
Tab. 55 Lumbale Rotation nach rechts, mit Triple Lumbar, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	0.5155	26.53	5.43	15.89	37.17
9	73	0.4149	27.23	5.49	16.47	37.99
10	51	0.2336	26.88	4.33	18.39	35.37
11	74	0.6213	27.23	5.34	16.76	37.70
12	75	0.5690	27.25	4.91	17.63	36.87
13	74	0.0101	26.50	5.81	15.11	37.89
14	94	0.4302	28.16	5.60	17.18	39.14
15	95	0.0009	28.16	6.39	15.64	40.68
16	96	0.1554	26.80	6.26	14.53	39.07
17	81	0.6638	26.84	5.03	16.98	36.70
18	34	0.7755	26.44	5.88	14.92	37.96

Tab. 56 Lumbale Rotation nach links, mit Triple Lumbar, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	0.0135	25.47	4.67	16.32	34.62
9	73	0.3945	23.21	4.77	13.86	32.56
10	51	0.1736	23.96	4.32	15.49	32.43
11	74	0.6438	24.65	5.38	14.11	35.19
12	75	0.7156	25.19	4.56	16.25	34.13
13	74	0.1852	23.76	4.84	14.27	33.25
14	94	0.2706	23.30	5.36	12.79	33.81
15	95	0.9895	23.90	4.93	14.24	33.56
16	96	0.1923	22.49	5.05	12.59	32.39
17	81	0.4365	22.41	4.40	13.79	31.03
18	34	0.2358	22.29	6.34	9.86	34.73

Abb. 46 Lumbale Rotation nach rechts und links, mit Triple Lumbar, weibliche Probanden



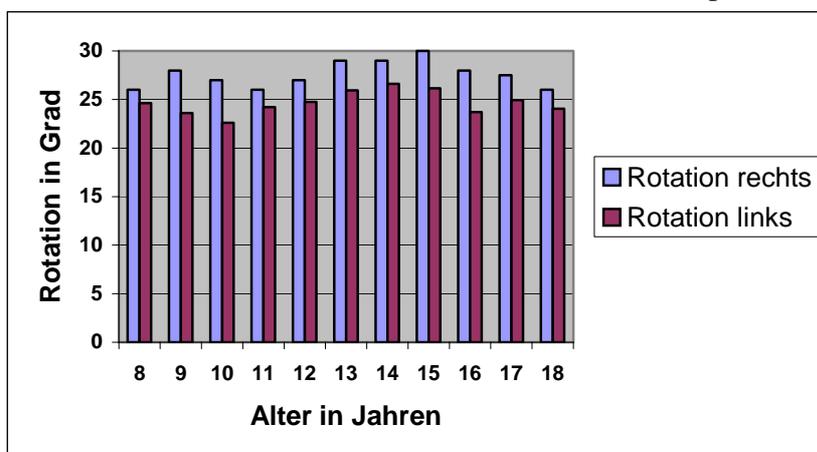
Tab. 57 Lumbale Rotation nach rechts, mit Triple Lumbar, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Median (°)	Q1	Q3	5 %	95 %
8	21	0.6912	26	24	32	21	36
9	62	0.0836	28	24	30	19	36
10	63	0.4261	27	24	32	18	35
11	69	0.2053	26	23	30	18	36
12	67	0.0025	27	24	32	17	38
13	76	0.0304	29	24	31	19	36
14	81	0.1770	29	26.5	33	20.5	41.5
15	88	0.0001	30	25	34	22	45
16	75	0.0040	28	24	32	21	38
17	70	0.1543	27.5	24.5	34	18	42
18	50	0.0095	26	23	31	19	41

Tab. 58 Lumbale Rotation nach links, mit Triple Lumbar, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	0.0521	24.62	3.99	16.80	32.44
9	62	0.3632	23.61	5.94	11.97	35.25
10	63	0.6410	22.60	5.50	11.82	33.38
11	69	0.6036	24.20	4.23	15.91	32.49
12	67	0.3705	24.76	4.99	14.98	34.54
13	76	0.0818	25.93	5.63	14.90	36.96
14	81	0.8532	26.62	5.17	16.49	36.75
15	88	0.3373	26.15	6.03	14.33	37.97
16	75	0.5700	23.69	5.14	13.62	33.76
17	70	0.7202	24.96	4.75	15.65	34.27
18	50	0.0806	24.06	4.72	14.81	33.31

Abb. 47 Lumbale Rotation nach rechts und links, mit Triple Lumbar, männliche Probanden



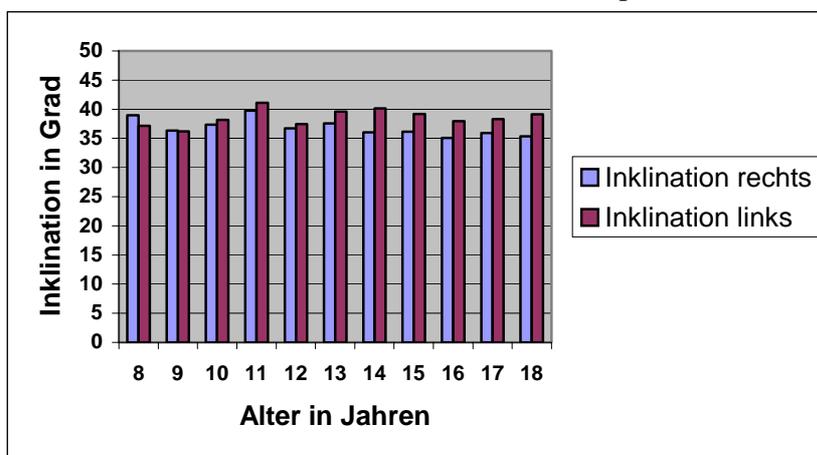
Tab. 59 Inklination nach rechts, mit Triple Lumbar, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	0.0539	38.95	5.49	28.19	49.71
9	73	0.7762	36.34	6.51	23.58	49.10
10	51	0.3044	37.35	6.51	24.59	50.11
11	74	0.6287	39.74	6.78	26.45	53.03
12	75	0.0843	36.73	5.97	25.03	48.43
13	74	0.1904	37.57	6.49	24.85	50.29
14	94	0.4238	36.04	7.10	22.12	49.96
15	95	0.5595	36.16	6.88	22.68	49.64
16	96	0.4910	35.08	6.69	21.97	48.19
17	81	0.0010	35.91	8.65	18.96	52.86
18	34	0.4547	35.32	8.51	18.64	51.99

Tab. 60 Inklination nach links, mit Triple Lumbar, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	0.6383	37.16	6.18	28.19	49.71
9	73	0.9564	36.22	6.74	23.58	49.10
10	51	0.1804	38.16	7.31	24.59	50.11
11	74	0.5883	41.08	6.69	26.45	53.03
12	75	0.1613	37.48	6.51	25.03	48.43
13	74	0.1269	39.62	7.10	24.85	50.29
14	94	0.0559	40.16	6.06	22.12	49.96
15	95	0.6696	39.17	6.08	22.68	49.64
16	96	0.3746	37.95	5.56	21.97	48.19
17	81	0.8172	38.33	7.15	18.96	52.86
18	34	0.0386	39.12	6.65	18.64	51.99

Abb. 48 Inklination nach rechts und links, mit Triple Lumbar, weibliche Probanden



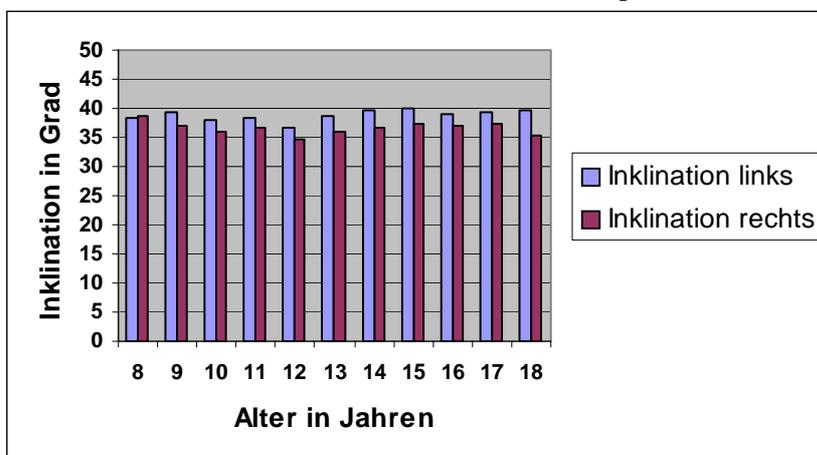
Tab. 61 Inklination nach rechts, mit Triple Lumbar, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	0.4752	38.76	6.15	22.92	53.74
9	62	0.6232	37.06	6.34	27.48	51.16
10	63	0.8447	36.13	6.6	27.60	48.46
11	69	0.1911	36.56	6.45	25.15	51.29
12	67	0.7858	34.82	6.31	25.18	48.04
13	76	0.6653	36.16	6.06	25.50	51.99
14	81	0.0175	36.75	4.29	28.66	50.46
15	88	0.1317	37.45	6.95	28.35	51.71
16	75	0.2271	36.84	6.35	26.63	51.13
17	70	0.6868	37.48	5.24	28.32	50.58
18	50	0.6379	35.32	6.2	23.94	55.70

Tab. 62 Inklination nach links, mit Triple Lumbar, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	0.3194	38.33	7.86	22.92	53.74
9	62	0.6727	39.32	6.04	27.48	51.16
10	63	0.4120	38.03	5.32	27.60	48.46
11	69	0.9330	38.22	6.67	25.15	51.29
12	67	0.1037	36.61	5.83	25.18	48.04
13	76	0.1472	38.75	6.76	25.50	51.99
14	81	0.3528	39.56	5.56	28.66	50.46
15	88	0.6544	40.03	5.96	28.35	51.71
16	75	0.7330	38.88	6.25	26.63	51.13
17	70	0.1257	39.45	5.68	28.32	50.58
18	50	0.0001	39.82	8.10	23.94	55.70

Abb. 49 Inklination nach rechts und links, mit Triple Lumbar, männliche Probanden



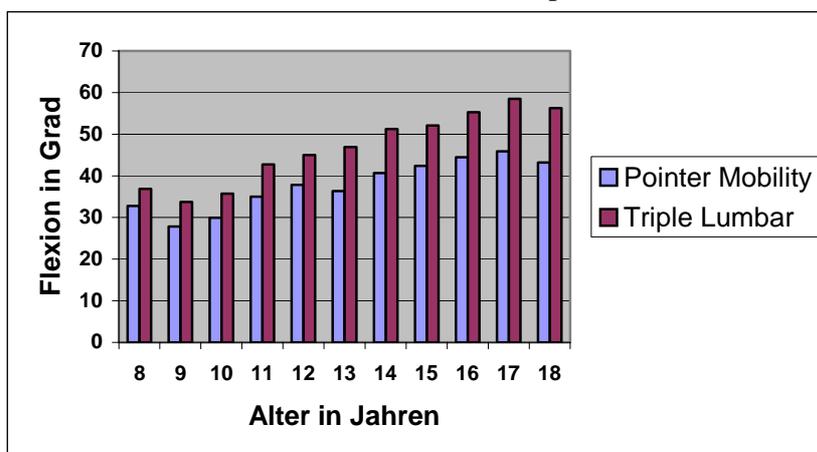
Tab. 63 Beckenflexion mit Taststift, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	0.7160	32.79	11.84	9.58	55.99
9	73	0.4586	27.85	11.60	5.11	50.59
10	51	0.0880	29.94	12.41	5.62	54.26
11	74	0.8298	34.99	12.98	9.55	60.43
12	75	0.7339	37.80	12.87	12.57	63.03
13	74	0.9555	36.36	13.68	9.55	63.17
14	94	0.1477	40.70	13.60	14.04	67.36
15	95	0.4742	42.37	12.32	18.22	66.52
16	96	0.4695	44.47	14.07	16.89	72.05
17	81	0.0753	45.90	15.30	15.91	75.89
18	34	0.7250	43.18	15.55	12.70	73.66

Tab. 64 Beckenflexion mit Triple Lumbar, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	18	0.3802	36.84	9.56	18.10	55.58
9	73	0.0575	33.71	9.90	14.31	53.11
10	51	0.7947	35.75	11.65	12.92	58.58
11	74	0.4164	42.78	10.68	21.85	63.71
12	75	0.5695	45.00	12.44	20.62	69,38
13	74	0.4287	46.92	10.92	25.52	68,32
14	94	0.4998	51.29	12.78	26.24	76,34
15	95	0.0467	52.07	10.47	31.55	72.59
16	96	0.0560	55.27	12.40	30.97	79.57
17	81	0.2115	58.53	11.07	36.83	80.23
18	34	0.7252	56.24	13.76	29.27	83,21

Abb. 50 Beckenflexion mit Taststift und Triple Lumbar, weibliche Probanden



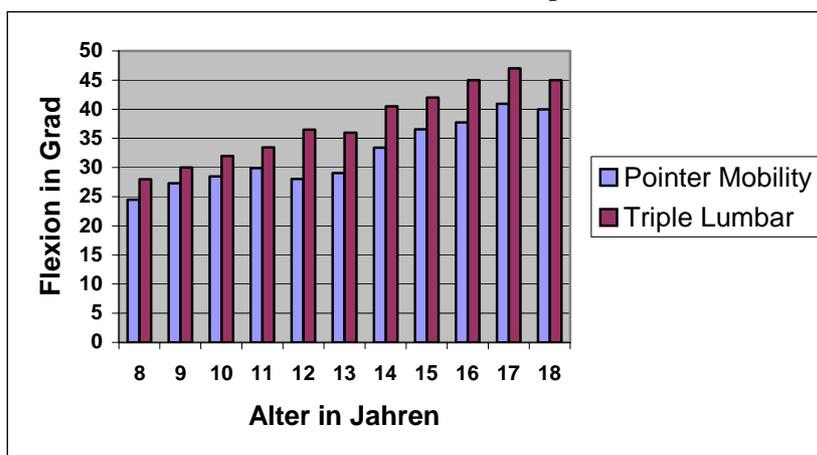
Tab. 65 Beckenflexion mit Taststift, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	0.2522	24.48	14.86	-4.65	53.61
9	62	0.1145	27.30	12.20	3.39	51.21
10	63	0.1251	28.46	11.96	5.02	51.90
11	69	0.0280	29.88	9.45	11.36	48.40
12	67	0.1711	28.03	10.97	6.53	49.53
13	76	0.0246	29.05	10.90	7.69	50.41
14	81	0.5774	33.44	11.96	9.99	56.88
15	88	0.0809	36.56	13.22	10.65	62.47
16	75	0.5511	37.75	12.81	12.64	62.86
17	70	0.7177	40.96	12.75	15.97	65.95
18	50	0.1007	40.00	13.88	12.80	67.20

Tab. 66 Beckenflexion mit Triple Lumbar, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Median (°)	Q1	Q3	5 %	95 %
8	21	0.0329	28	21	36	19	45
9	62	0.4038	30	23	36	10	47
10	63	0.3263	32	23	43	17	52
11	69	0.0004	33.5	30	41	18	52
12	67	0.5555	36.5	29	41	20	49
13	76	0.1122	36	28	44	22	57
14	81	0.0681	40.5	34	45	23	60
15	88	0.4926	42	35	50,5	27	62
16	75	0.2345	45	39	51	30	60
17	70	0.7099	47	41	54	30	65
18	50	0.0419	45	40	57	29	73

Abb. 51 Beckenflexion mit Taststift und Triple Lumbar, männliche Probanden



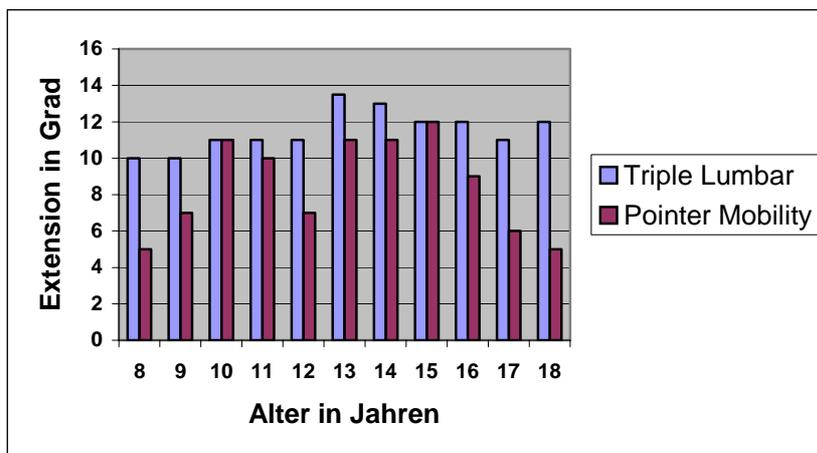
Tab. 67 Beckenextension mit Taststift, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Median (°)	Q1	Q3	5 %	95 %
8	18	0.3314	5	-1	10	-14	32
9	73	0.8629	7	1	13	-7	25
10	51	0.7255	11	5	14	-4	26
11	74	0.6566	10	5	16	-3	25
12	75	0.0001	7	2	13	-6	24
13	74	0.9938	11	4	21	-7	33
14	94	0.0002	11	3	16.5	-9	32
15	95	0.0011	12	6.5	17	-6	30
16	96	0.6305	9	3	16	-6	26
17	81	0.0006	6	1	13	-3	28
18	34	0.0001	5	0	12	-8	54

Tab. 68 Beckenextension mit Triple Lumbar, weibliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Median (°)	Q1	Q3	5 %	95 %
8	18	0.1694	10	4	14	2	25
9	73	0.1223	10	6	16	1	20
10	51	0.0462	11	8	14	6	22
11	74	0.1876	11	6	16.5	1	22
12	75	0.0302	11	8	14	3	22
13	74	0.2768	13.5	10	17	3	25
14	94	0.0550	13	9	18	3	25
15	95	0.4263	12	9	16	2	23
16	96	0.2346	12	8	16	1	23
17	81	0.8916	11	8	14	3	19.5
18	34	0.0003	12	10	17	3	39

Abb. 52 Beckenextension mit Taststift und Triple Lumbar, weibliche Probanden



Tab. 67 Beckenextension mit Taststift, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Mittelwert(°)	s	x-1,96*s	x+1,96*s
8	21	0.9011	11.71	9.40	-6.56	36.56
9	62	0.4334	11.23	9.40	-4.64	30.64
10	63	0.9529	10.63	9.63	-6.60	32.60
11	69	0.2410	14.32	10.90	-4.66	28.66
12	67	0.0966	11.37	10.00	-4.64	30.64
13	76	0.7960	14.66	7.96	-5.08	36.08
14	81	0.4164	14.23	7.91	-12.42	44.42
15	88	0.3517	14.94	9.45	-8.02	39.02
16	75	0,3967	13.82	7.93	-3.64	31.64
17	70	0.2695	17.43	8.22	-3.64	31.64
18	50	0.3313	14.68	9.95	-1.72	25.72

Tab. 68 Beckenextension mit Triple Lumbar, männliche Probanden

Alter	n	Pr<W	Median (°)	Q1	Q3	5 %	95 %
8	21	0.7213	15	11	17	8	23
9	62	0.0519	13	9	16	2	21
10	63	0.4031	13	10	17	2	21
11	69	0.2526	12	8.5	16	5	22
12	67	0.0052	13	9	19	6	22
13	76	0.1413	15.5	10.5	19.5	7	27
14	81	0.2339	16	14.5	21	6	28
15	88	0.0295	15.5	12	20.5	8	27
16	75	0.3907	14	9	19	3	25
17	70	0.3520	14	9	17	3	28
18	50	0.0425	12	7	17	5	24

Abb. 53 Beckenextension mit Taststift und Triple Lumbar, männliche Probanden

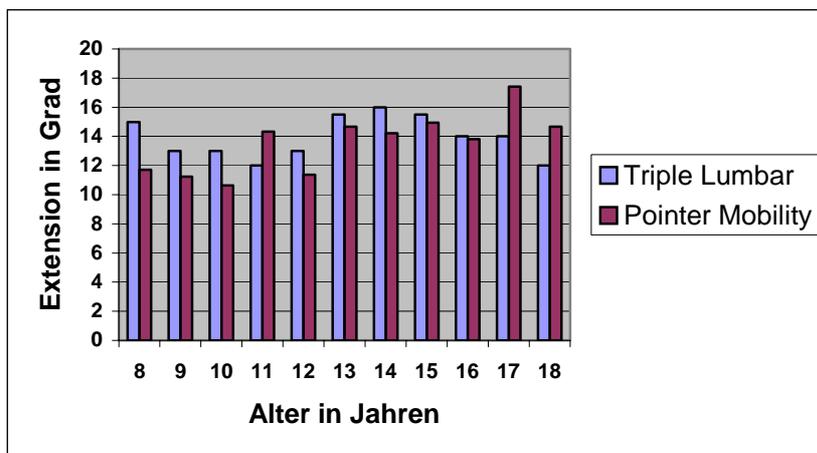


Abb. 54 Verteilung Kyphose, weibliche Probanden, 8 Jahre

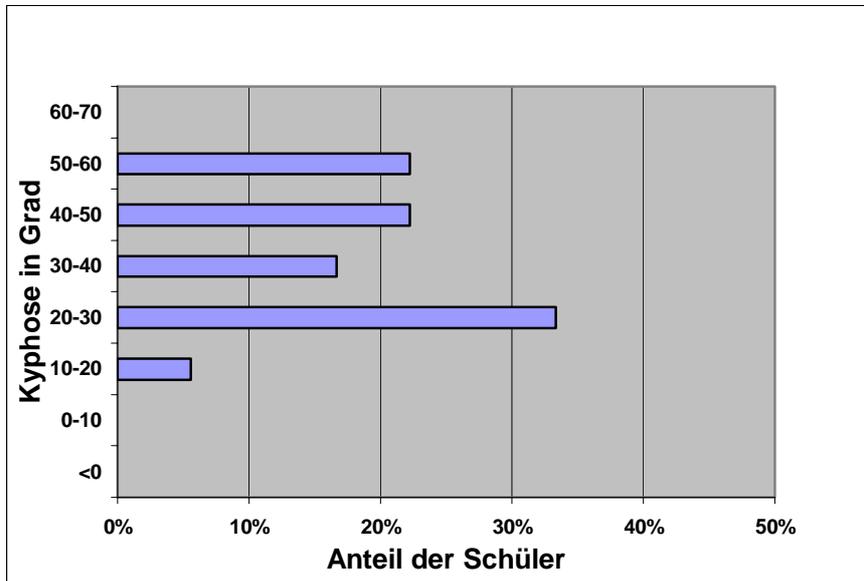


Abb. 55 Verteilung Lordose, weibliche Probanden, 8 Jahre

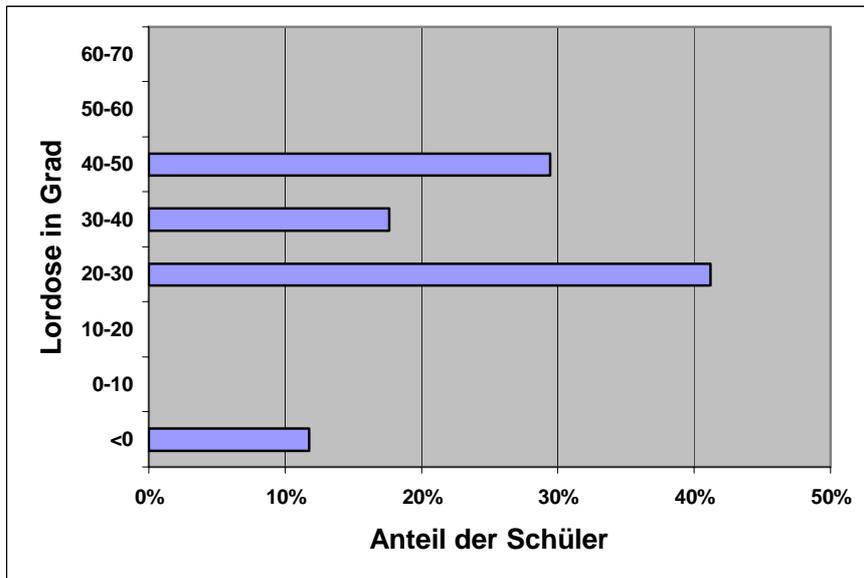


Abb. 56 Verteilung Kyphose, männliche Probanden, 8 Jahre

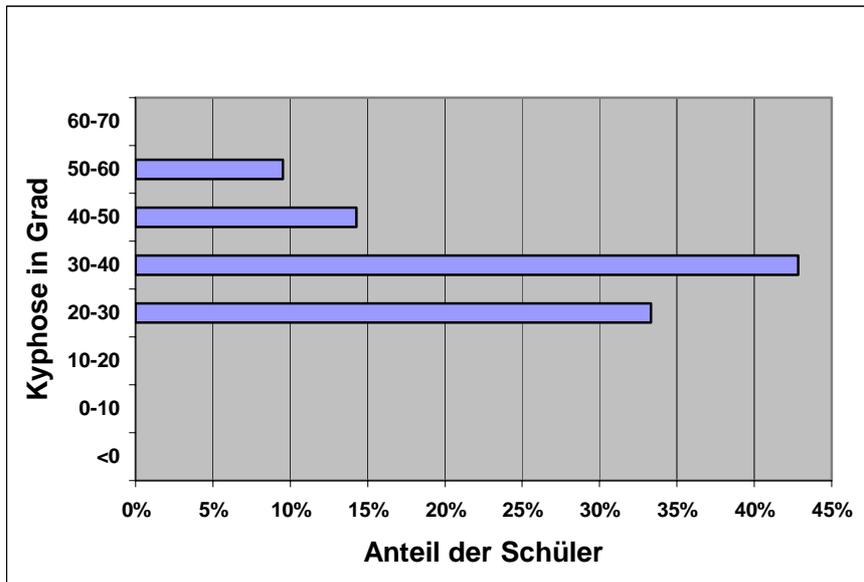


Abb. 57 Verteilung Lordose, männliche Probanden, 8 Jahre

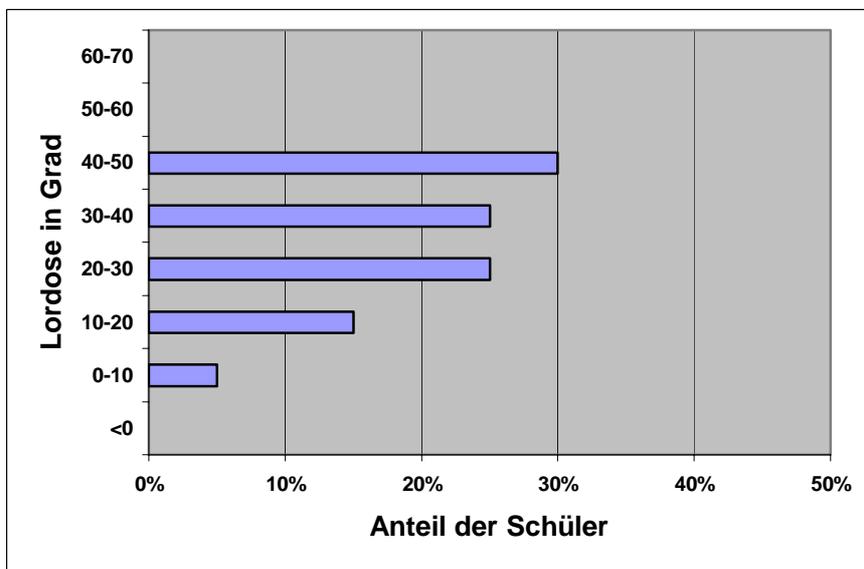


Abb. 58 Verteilung Kyphose, weibliche Probanden, 9 Jahre

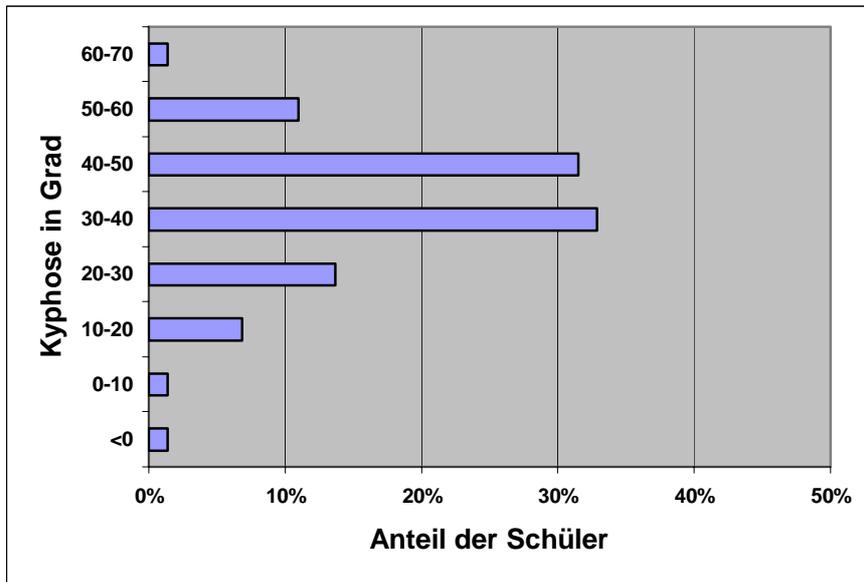


Abb. 59 Verteilung Lordose, weibliche Probanden, 9 Jahre

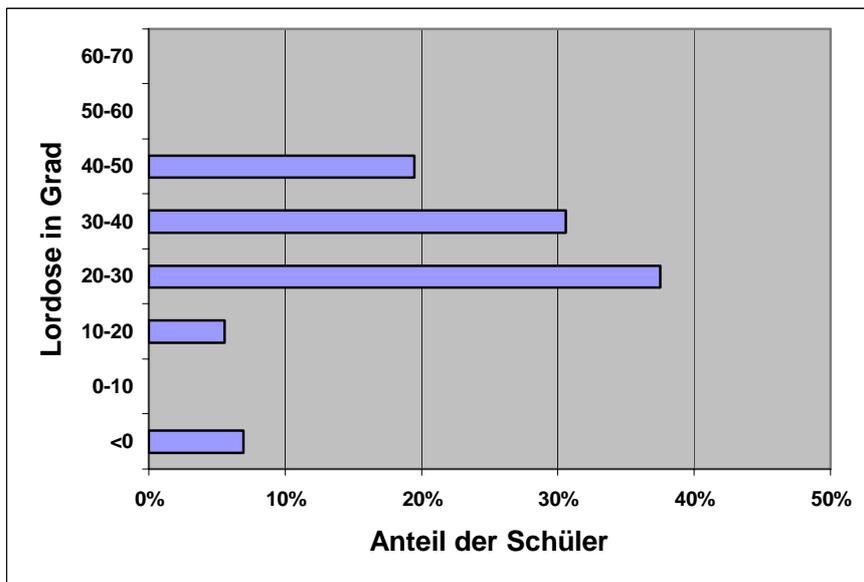


Abb. 60 Verteilung Kyphose, männliche Probanden, 9 Jahre

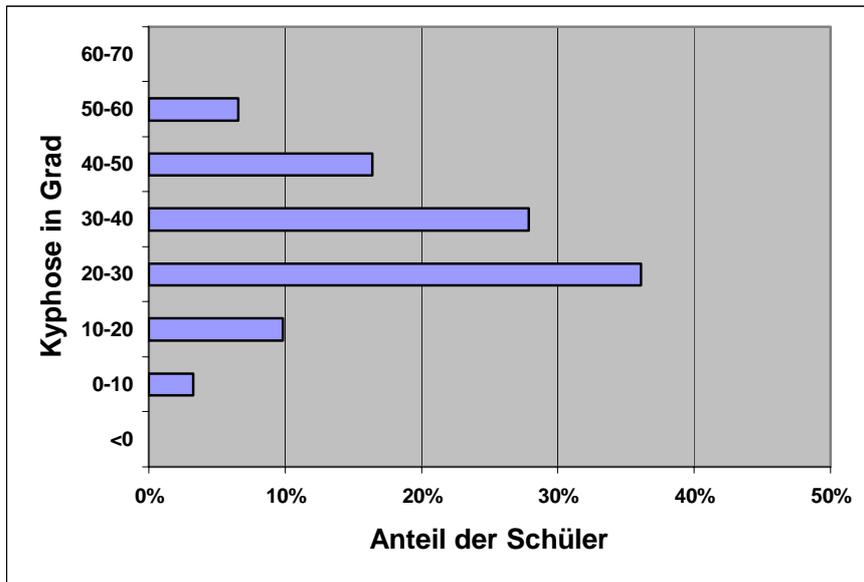


Abb. 61 Verteilung Lordose, männliche Probanden, 9 Jahre

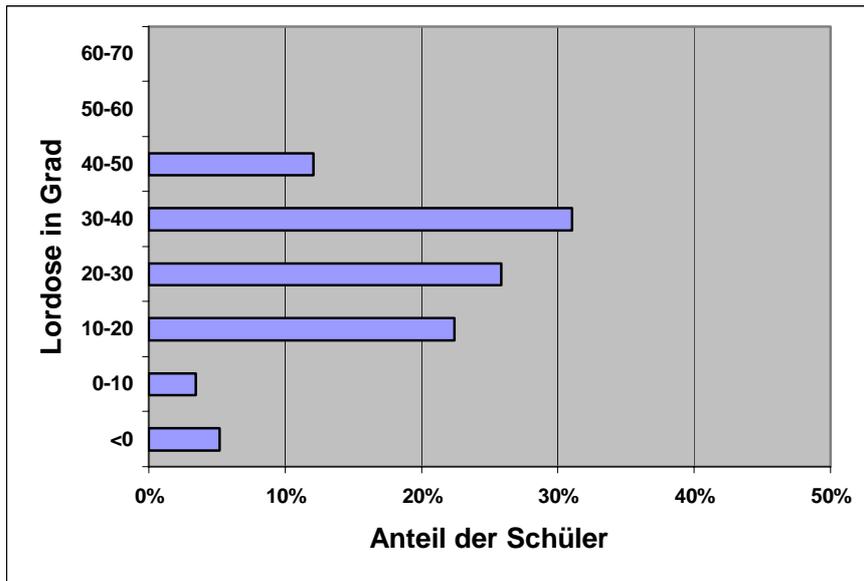


Abb. 62 Verteilung Kyphose, weibliche Probanden, 10 Jahre

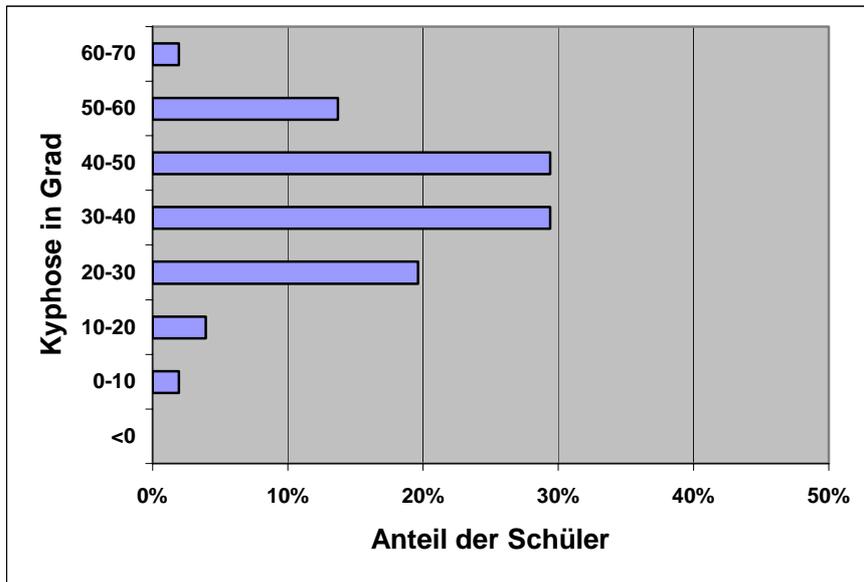


Abb. 63 Verteilung Lordose, weibliche Probanden, 10 Jahre

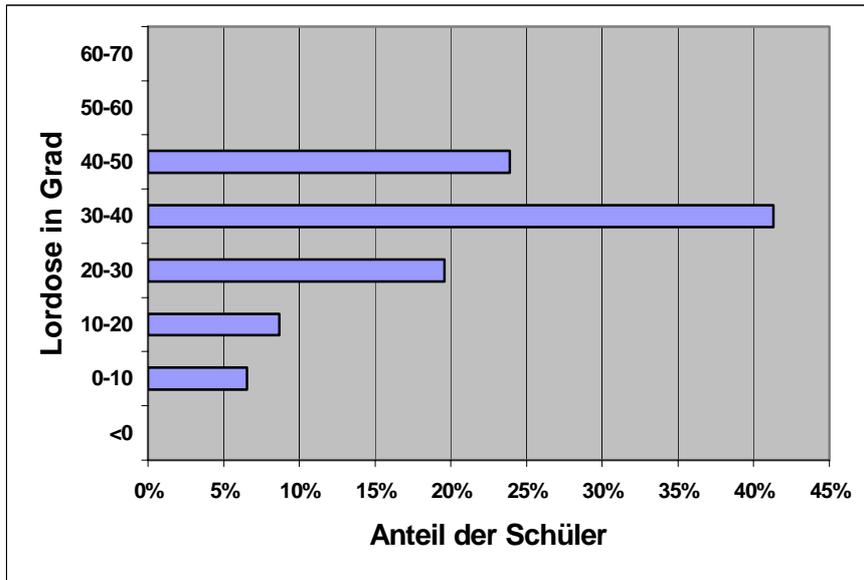


Abb. 64 Verteilung Kyphose, männliche Probanden, 10 Jahre

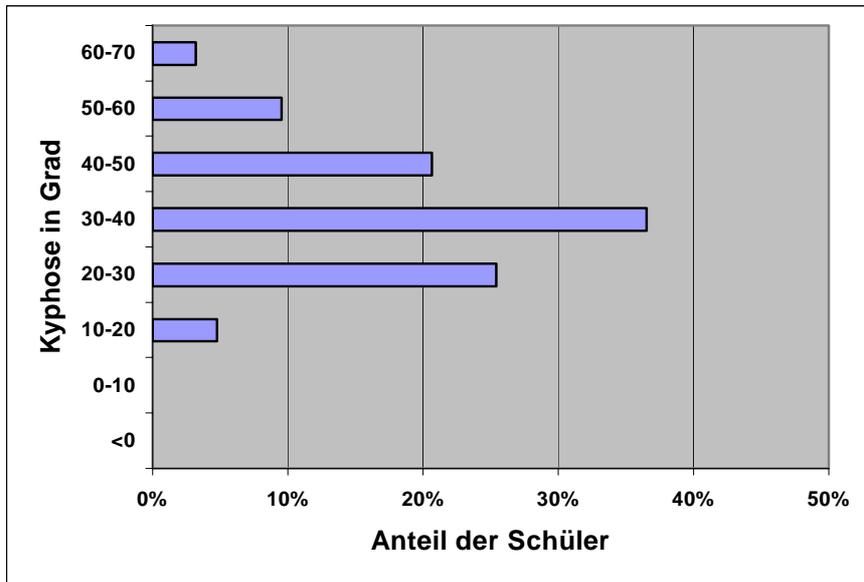


Abb. 65 Verteilung Lordose, männliche Probanden, 10 Jahre

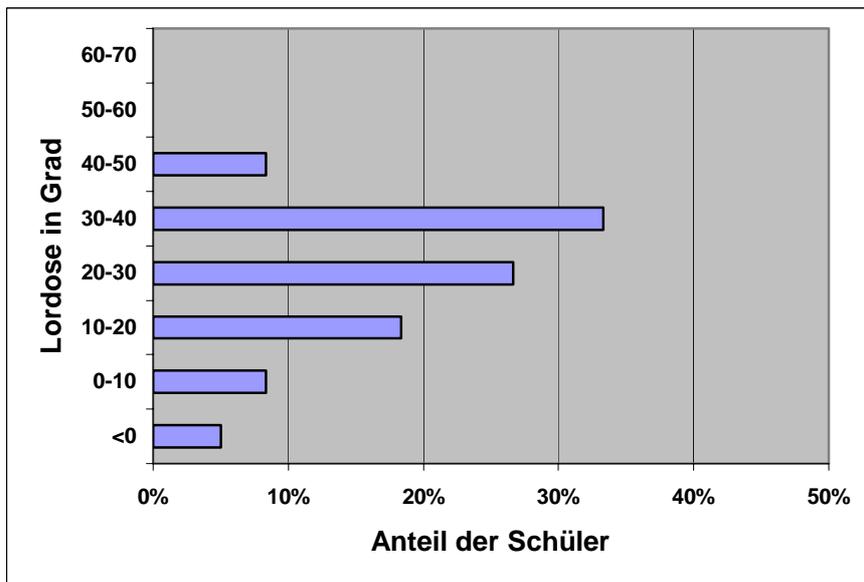


Abb. 66 Verteilung Kyphose, weibliche Probanden, 11 Jahre

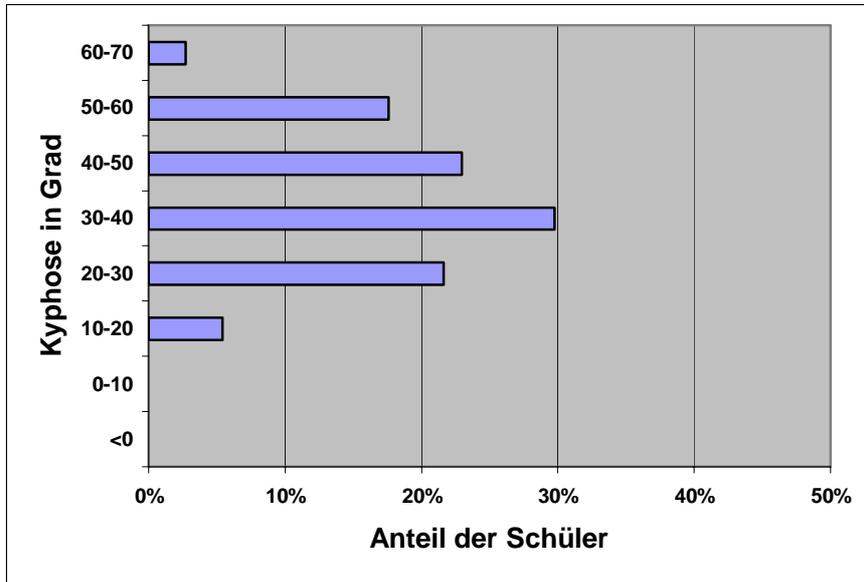


Abb. 67 Verteilung Lordose, weibliche Probanden, 11 Jahre

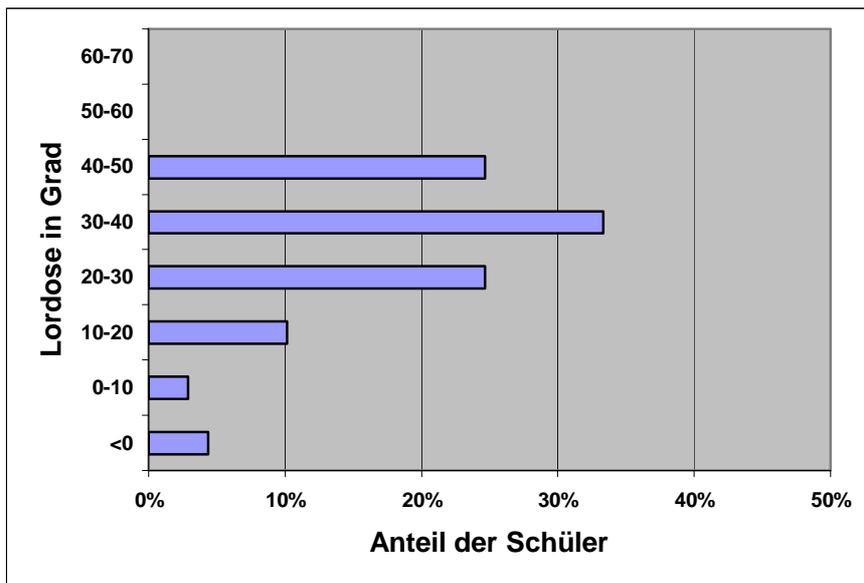


Abb. 68 Verteilung Kyphose, männliche Probanden, 11 Jahre

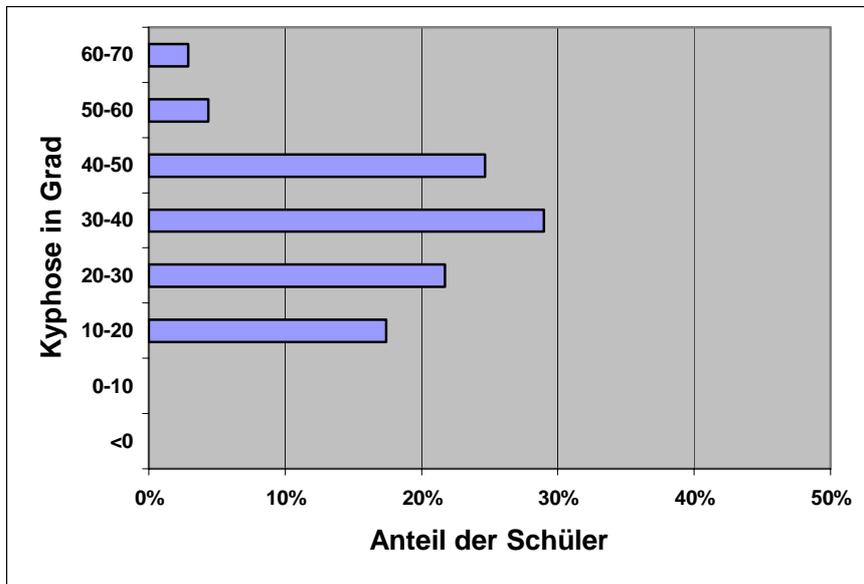


Abb. 69 Verteilung Lordose, männliche Probanden, 11 Jahre

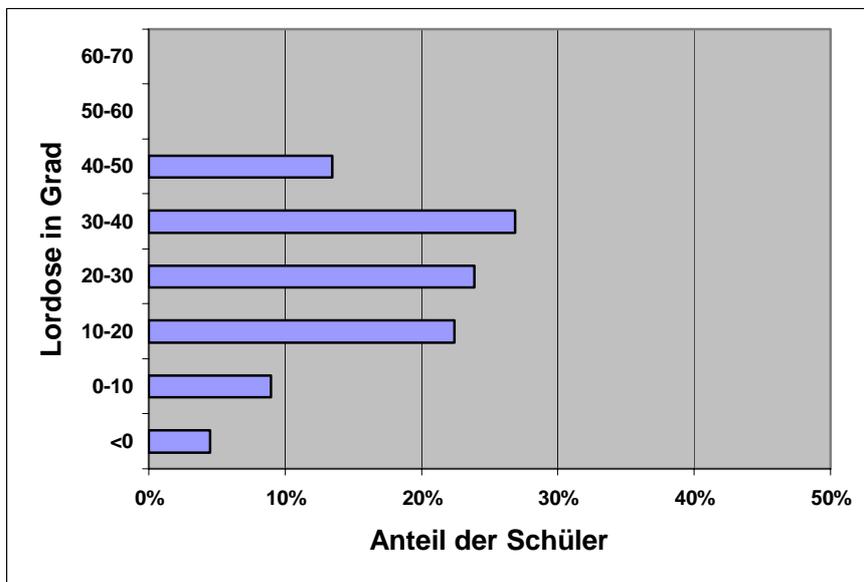


Abb. 70 Verteilung Kyphose, weibliche Probanden, 12 Jahre

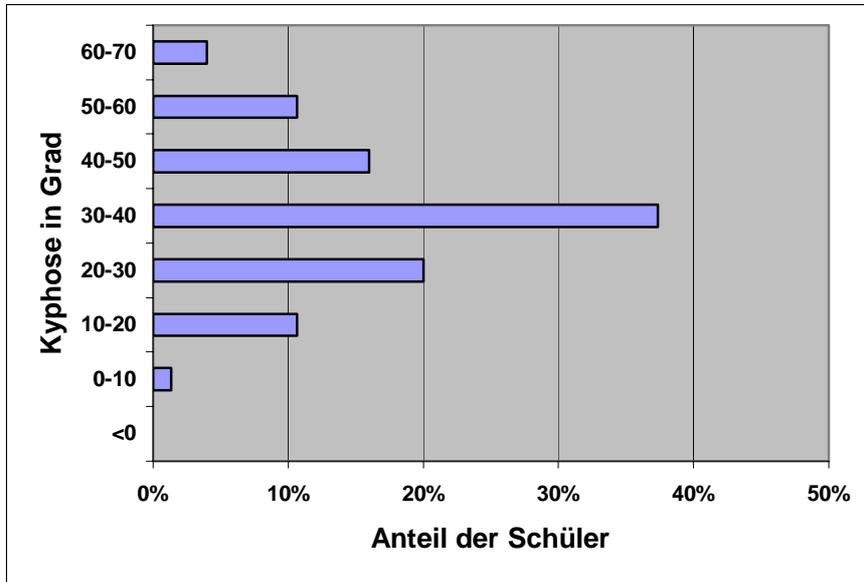


Abb. 71 Verteilung Lordose, weibliche Probanden, 12 Jahre

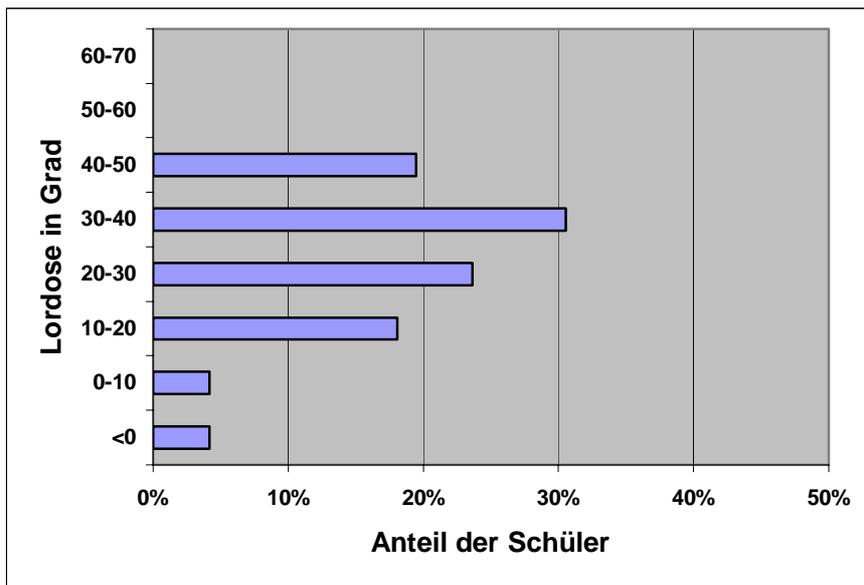


Abb. 72 Verteilung Kyphose, männliche Probanden, 12 Jahre

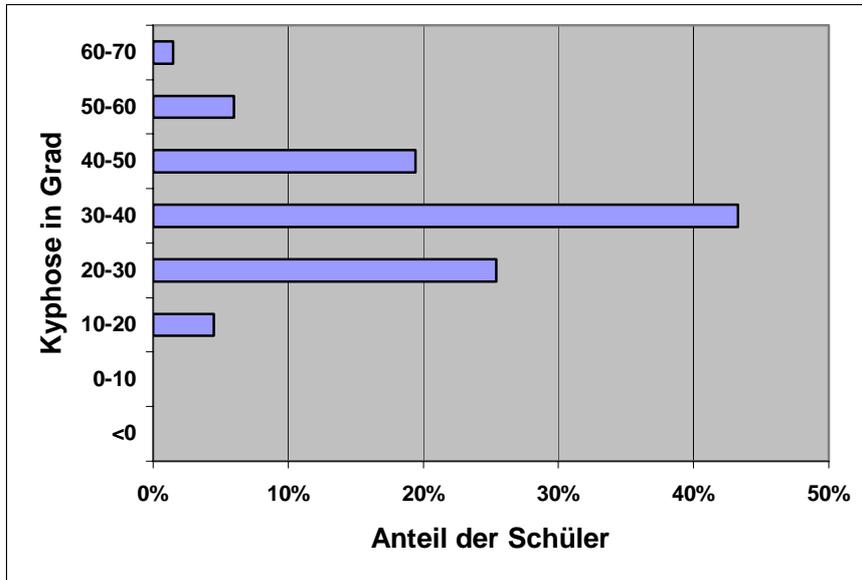


Abb. 73 Verteilung Lordose, männliche Probanden, 12 Jahre

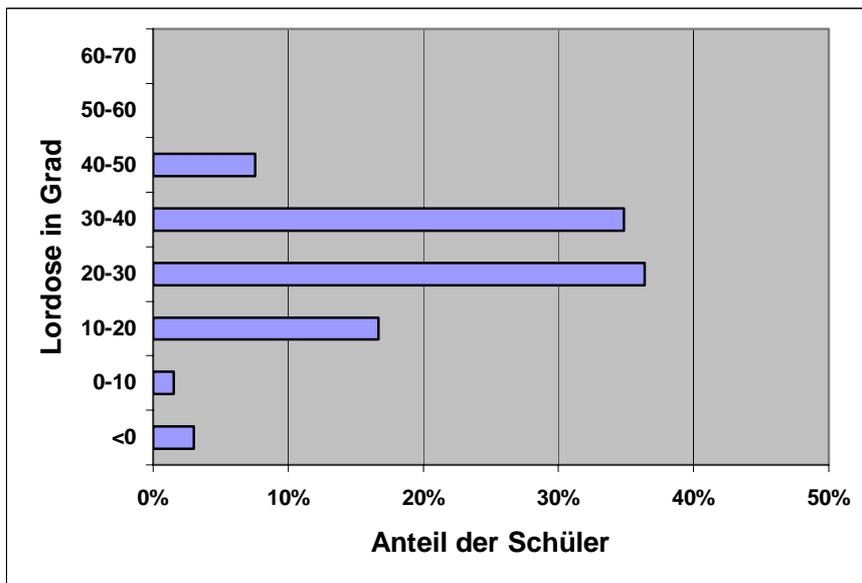


Abb. 74 Verteilung Kyphose, weibliche Probanden, 13 Jahre

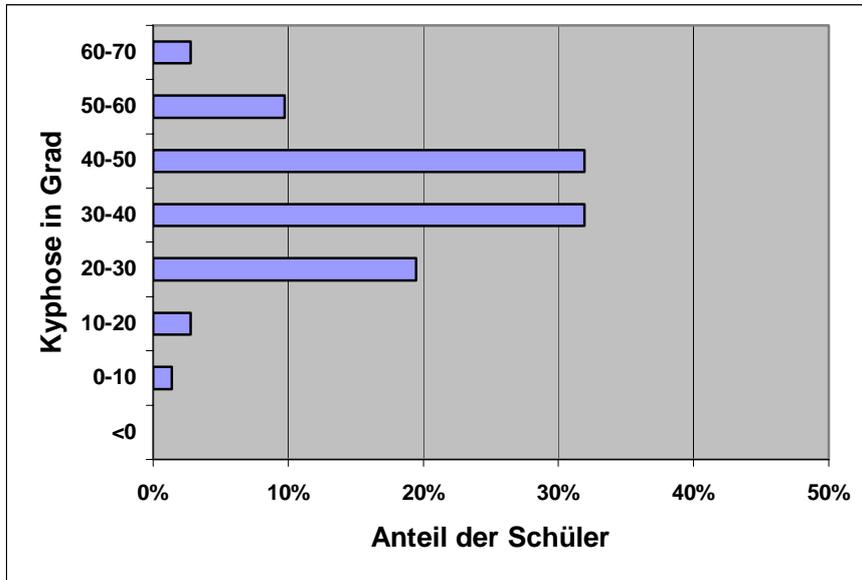


Abb. 75 Verteilung Lordose, weibliche Probanden, 13 Jahre

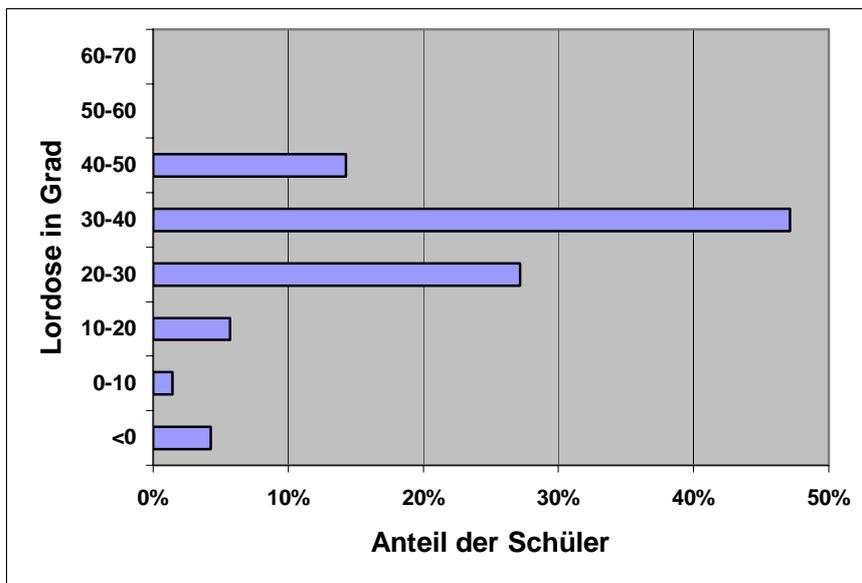


Abb. 76 Verteilung Kyphose, männliche Probanden, 13 Jahre

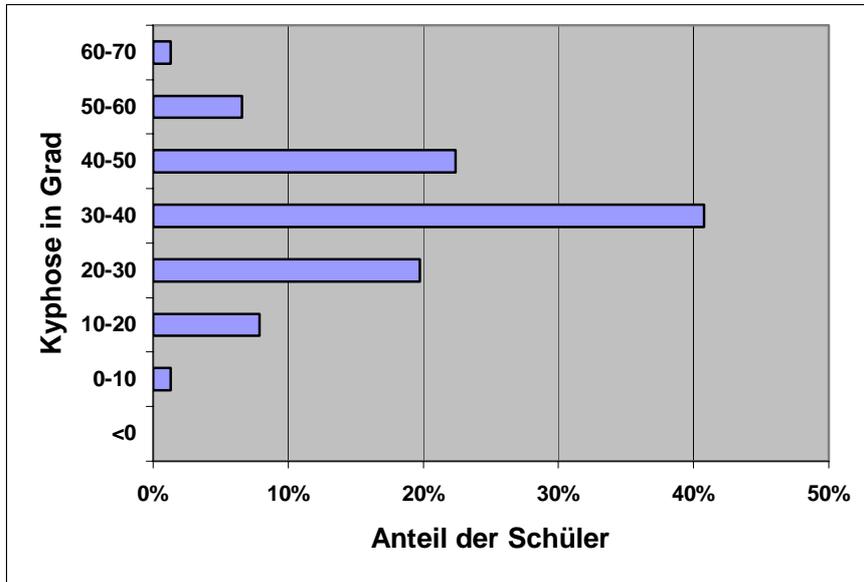


Abb. 77 Verteilung Lordose, männliche Probanden, 13 Jahre

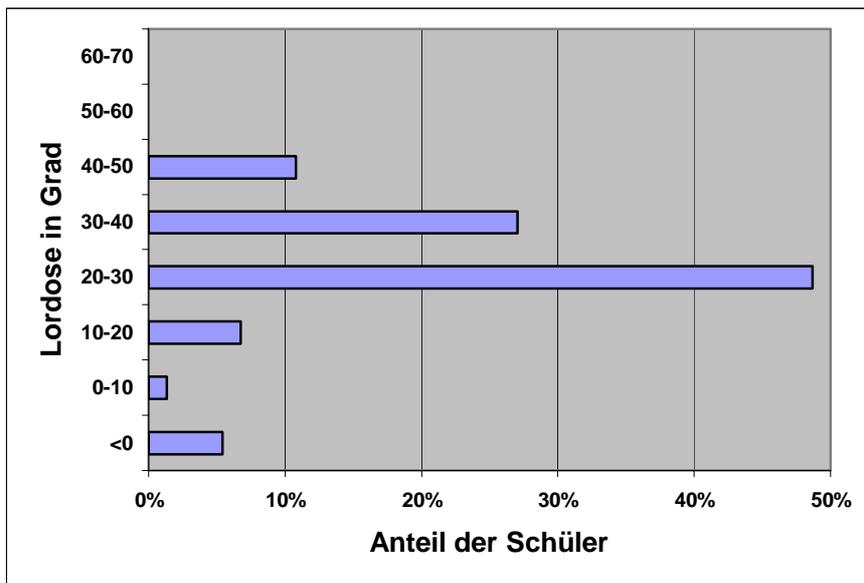


Abb. 78 Verteilung Kyphose, weibliche Probanden, 14 Jahre

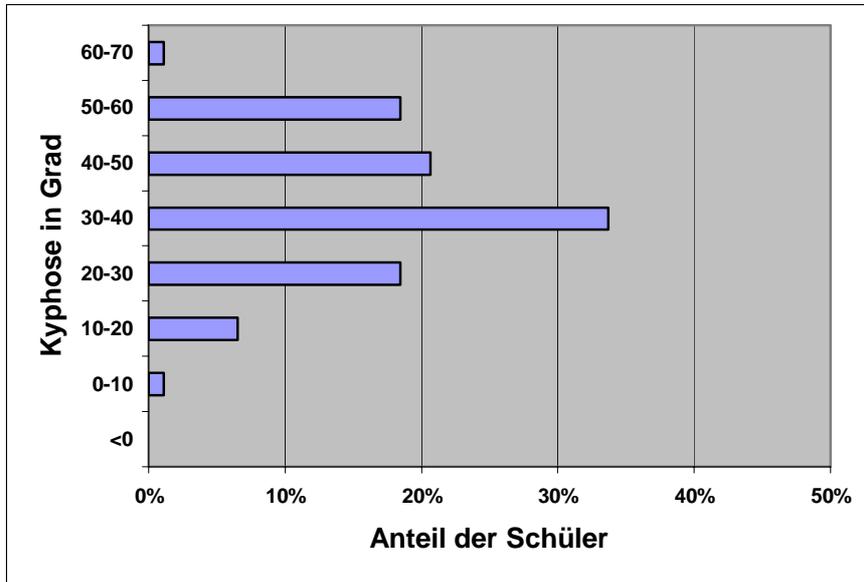


Abb. 79 Verteilung Lordose, weibliche Probanden, 14 Jahre

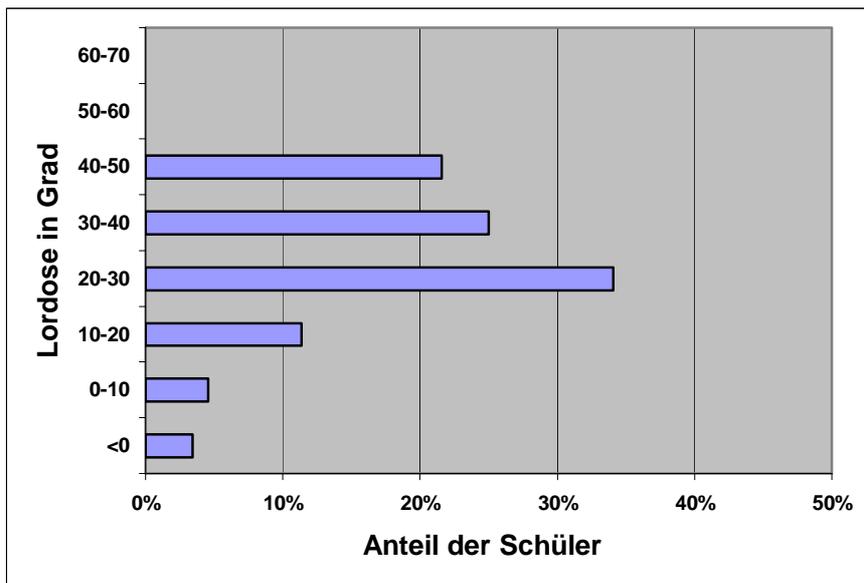


Abb. 80 Verteilung Kyphose, männliche Probanden, 14 Jahre

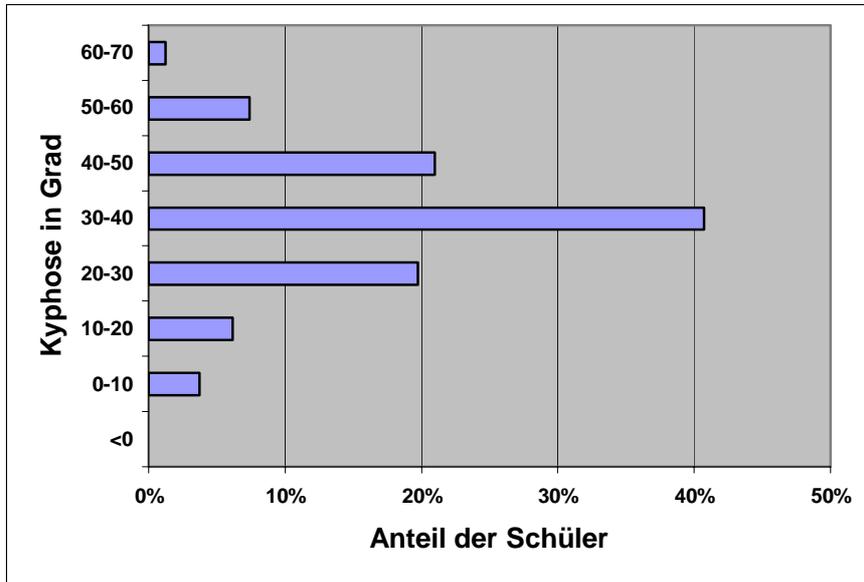


Abb. 81 Verteilung Lordose, männliche Probanden, 14 Jahre

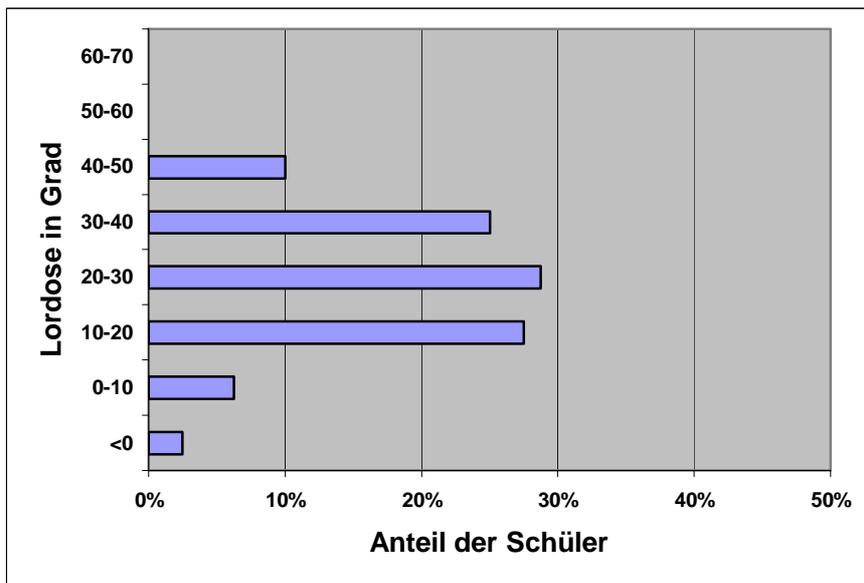


Abb. 82 Verteilung Kyphose, weibliche Probanden, 15 Jahre

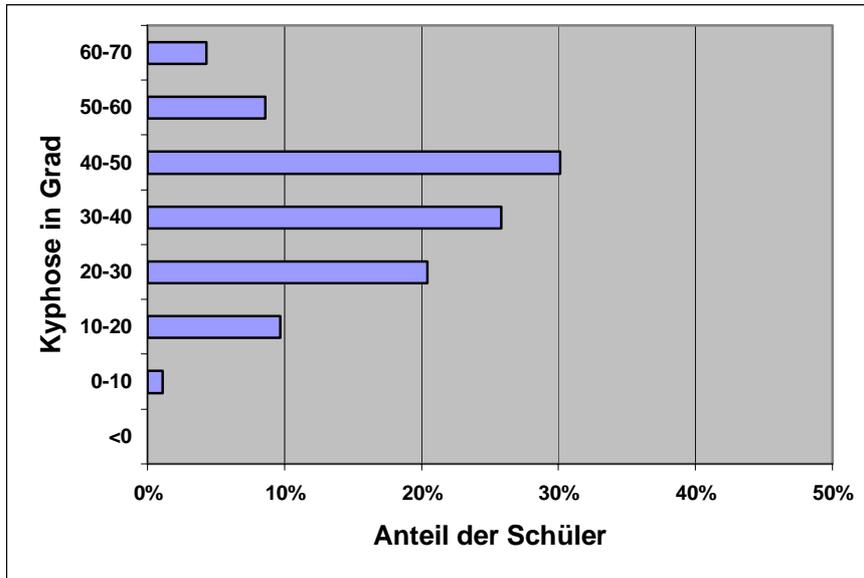


Abb. 83 Verteilung Lordose, weibliche Probanden, 15 Jahre

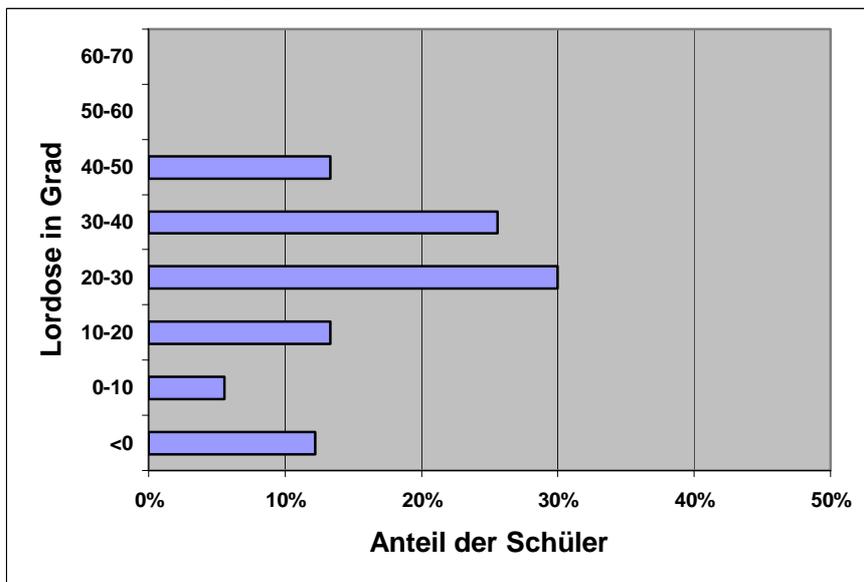


Abb. 84 Verteilung Kyphose, männliche Probanden, 15 Jahre

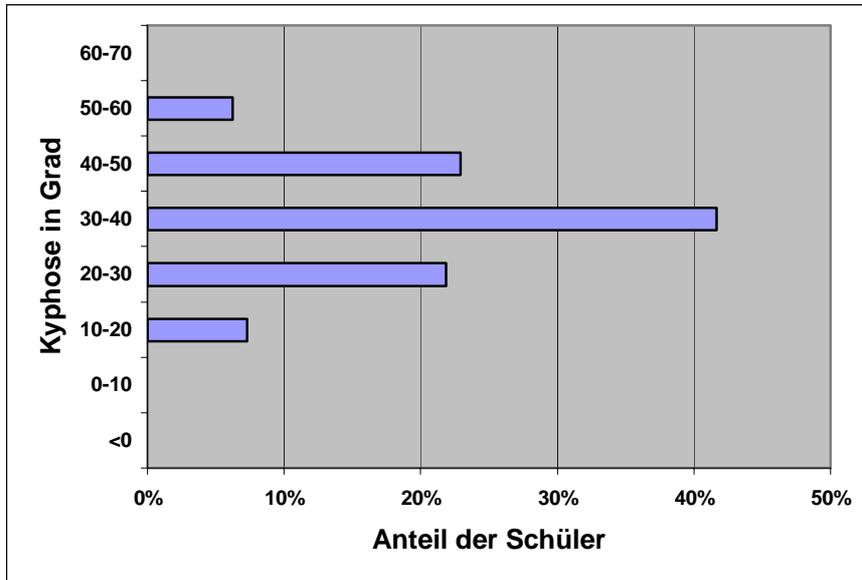


Abb. 85 Verteilung Lordose, männliche Probanden, 15 Jahre

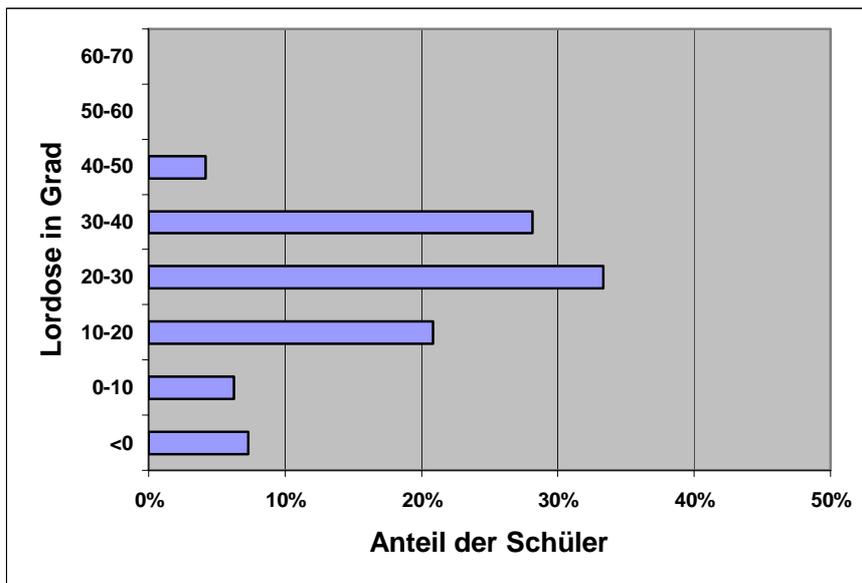


Abb. 86 Verteilung Kyphose, weibliche Probanden, 16 Jahre

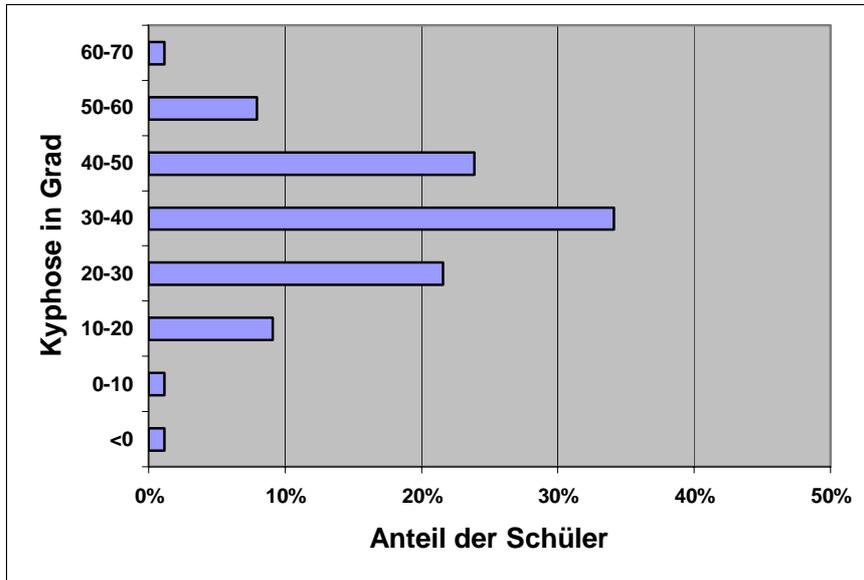


Abb. 87 Verteilung Lordose, weibliche Probanden, 16 Jahre

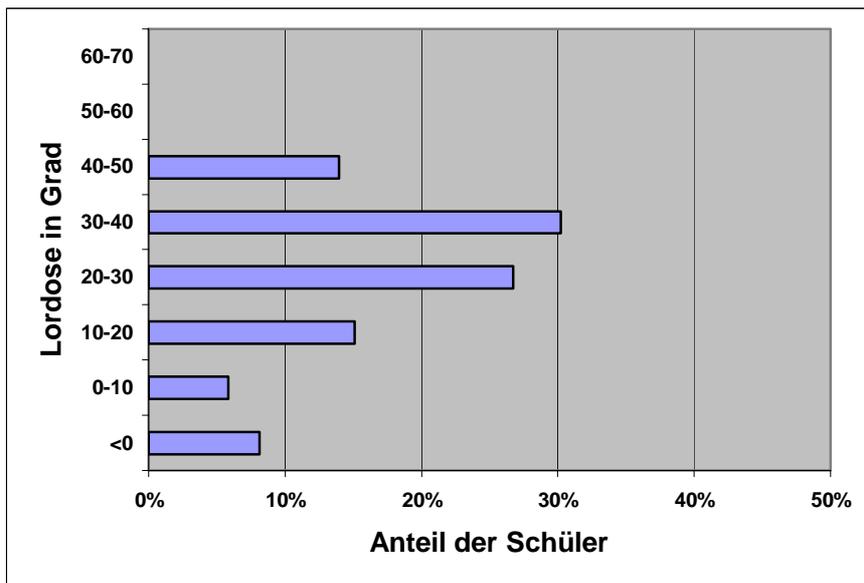


Abb. 88 Verteilung Kyphose, männliche Probanden, 16 Jahre

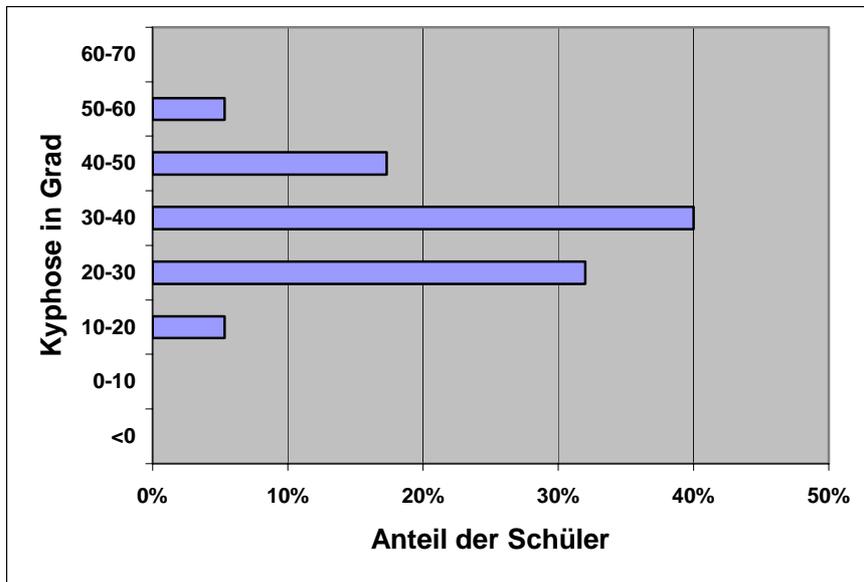


Abb. 89 Verteilung Lordose, männliche Probanden, 16 Jahre

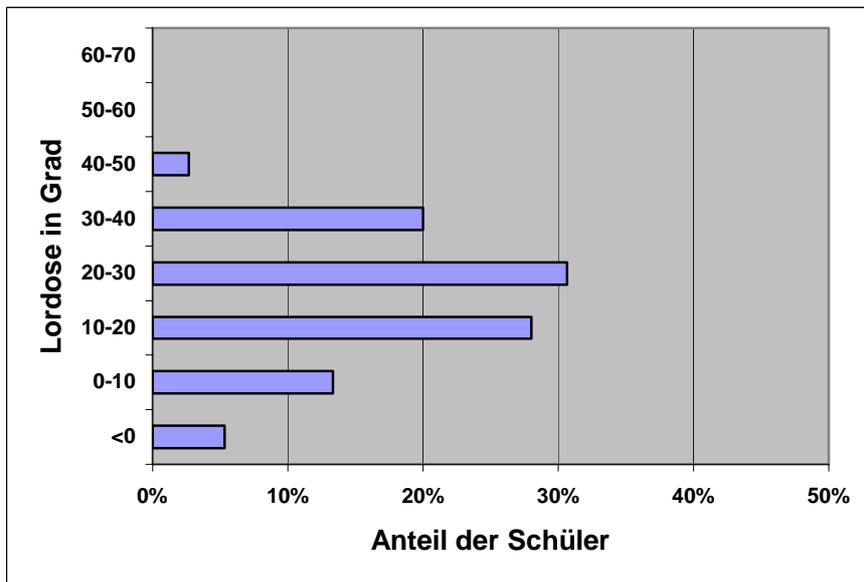


Abb. 90 Verteilung Kyphose, weibliche Probanden, 17 Jahre

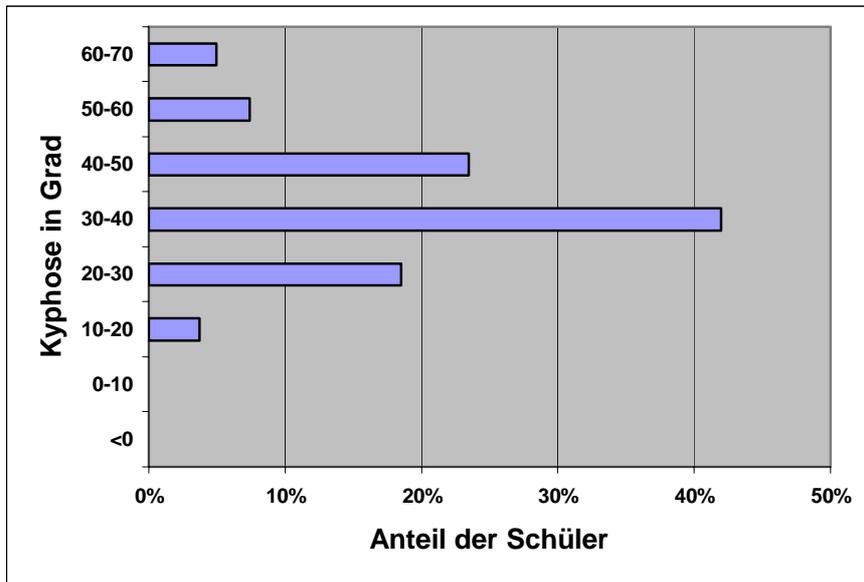


Abb. 91 Verteilung Lordose, weibliche Probanden, 17 Jahre

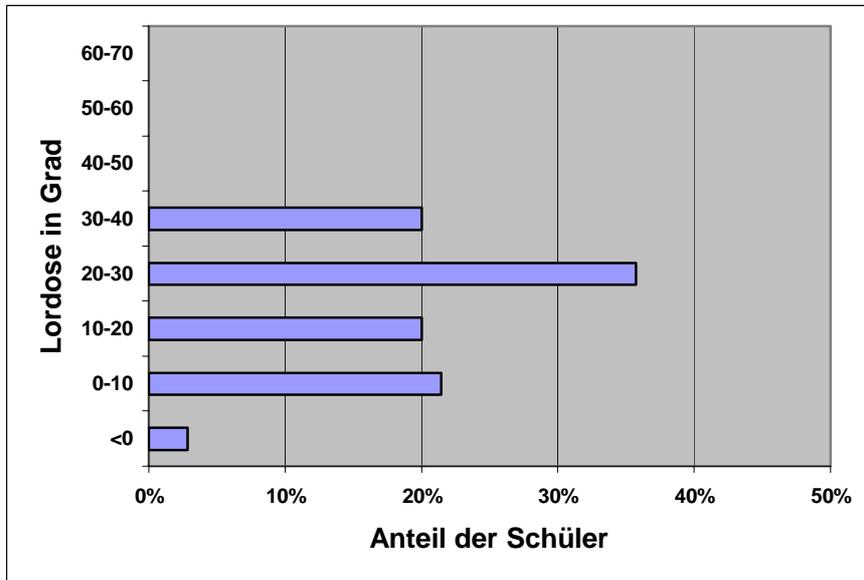


Abb. 92 Verteilung Kyphose, männliche Probanden, 17 Jahre

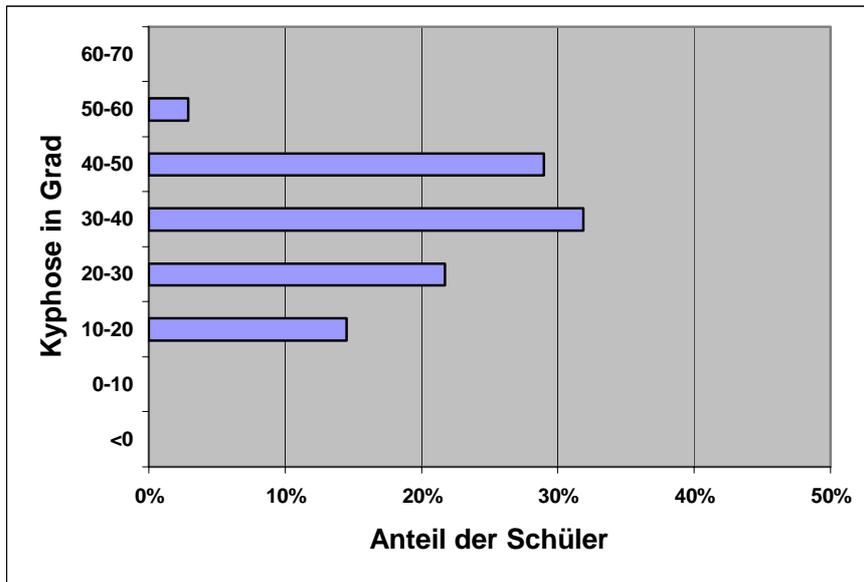


Abb. 93 Verteilung Lordose, männliche Probanden, 17 Jahre

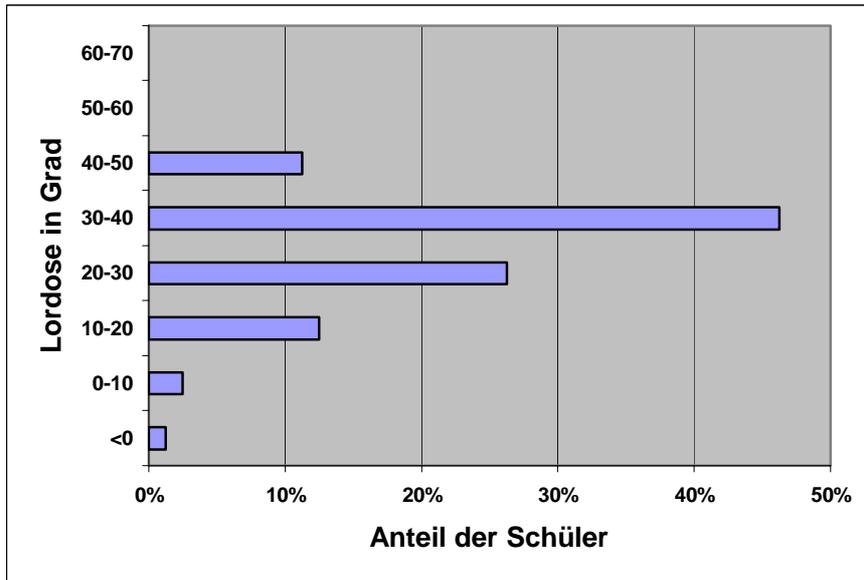


Abb. 94 Verteilung Kyphose, weibliche Probanden, 18 Jahre

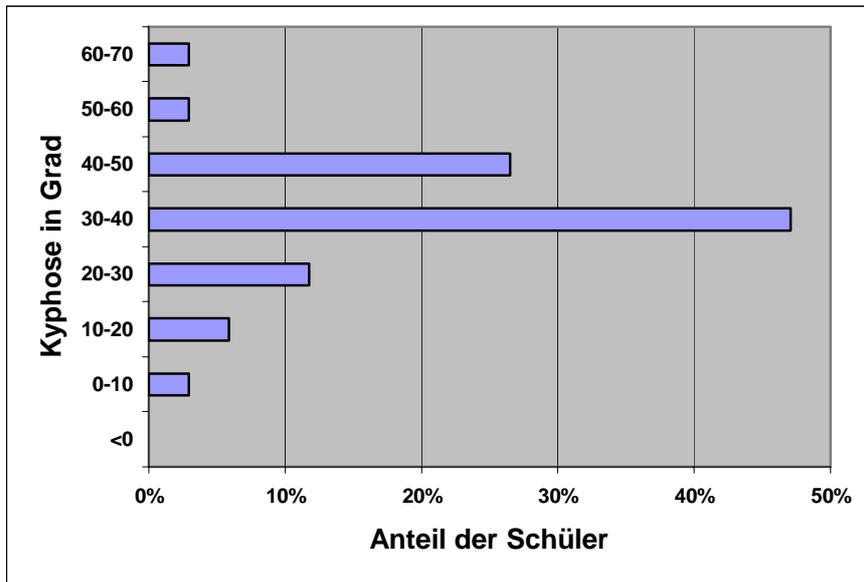


Abb. 95 Verteilung Lordose, weibliche Probanden, 18 Jahre

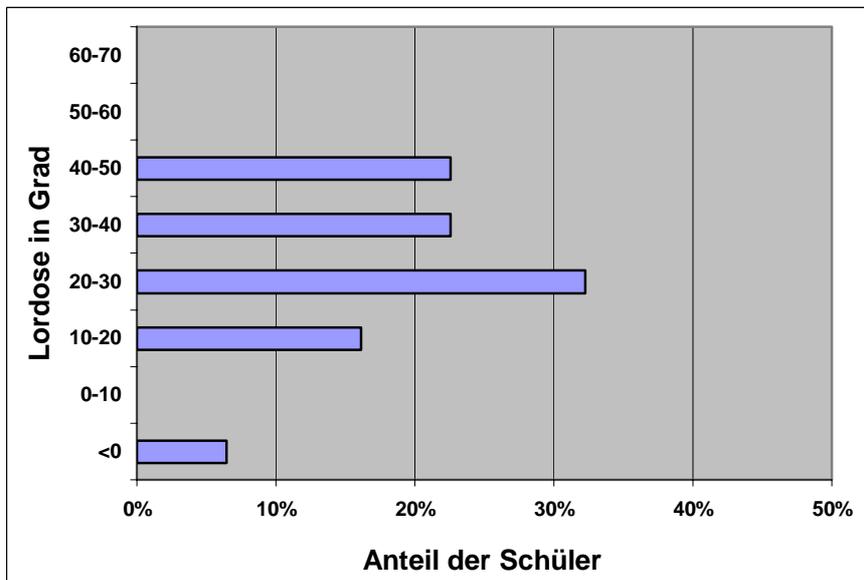


Abb. 96 Verteilung Kyphose, männliche Probanden, 18 Jahre

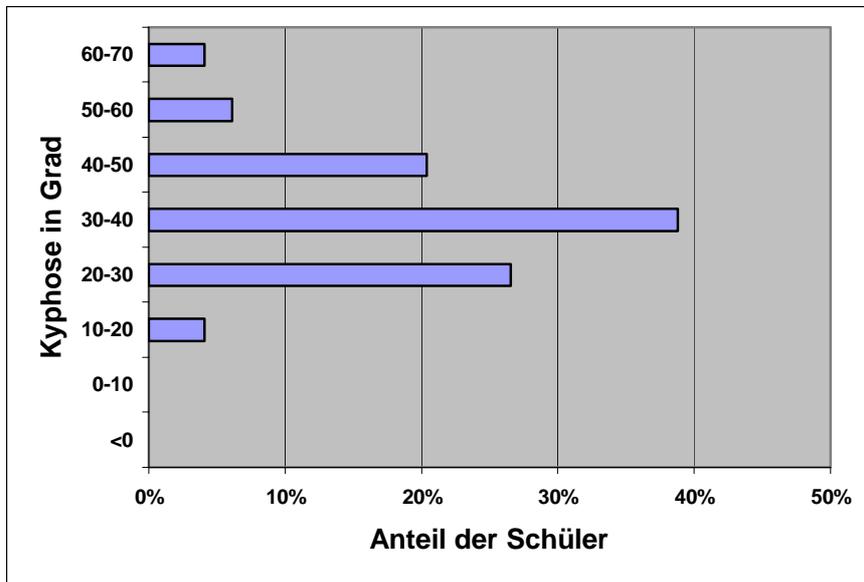
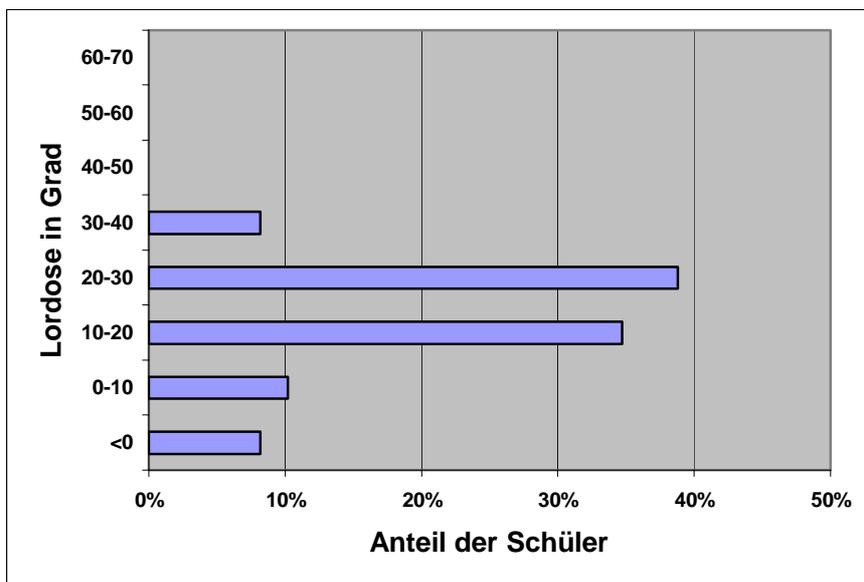


Abb. 97 Verteilung Lordose, männliche Probanden, 18 Jahre



## LEBENS LAUF

### Zur Person

Geboren: 09.05.75 in Helsinki, Finnland  
Eltern: Jukka Roiha  
Marjut Kristiina Roiha

### Schulbildung

1981-1985 Grundschule in Liederbach  
1985-1994 Deutsche Schule Helsinki, Finnland  
1994 Allgemeine Hochschulreife, Durchschnittsnote: 1,5  
Sprachen: Deutsch, Finnisch, Englisch, Schwedisch

### Studium

1995-2001 Philipps-Universität Marburg  
1998-2000 Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, im Rahmen  
des Hochschulaustauschprogrammes  
2001 2. Staatsexamen, Note: 2,0  
2002 3. Staatsexamen, Note: 1,0

### Praktisches Jahr

2001-2002 Ludwig-Maximilian-Universität München  
Chirurgie: Dr. von Haunersches Kinderspital München  
Pädiatrie: Dr. von Haunersches Kinderspital München  
Innere Medizin: Karl-Bremer-Hospital Stellenbosch, Südafrika

### Arzt im Praktikum

06/02 – 06/03 Dr. von Haunersches Kinderspital, LMU, München  
Seit 06/03 Universitäts-Kinderklinik des Inselspitals Bern,  
Schweiz

Bern, Januar 2004

## **DANKSAGUNG**

Mein besonderer Dank gilt Herrn PD Dr. med. M. Maier (Orthopädische Klinik und Poliklinik der Universität München) für die Betreuung dieser Arbeit und die Motivation zu weitergehender wissenschaftlicher Tätigkeit.

Frau Dr. med. A. Lieb (Orthopädische Klinik und Poliklinik der Universität München) danke ich für die kritische Durchsicht meiner Dissertation.

Herrn Prof. Dr. med. M. Krismer (Orthopädische Klinik der Universität Innsbruck) gilt mein Dank für die langjährige Unterstützung und den unermüdlichen Einsatz bei sämtlichen Fragestellungen und Problemen.

Frau C. Schönthaler (Universitätsklinik für Medizinische Psychologie und Psychotherapie, Innsbruck) und Herrn Dr. med. Th. Auckenthaler (Orthopädische Klinik der Universität Innsbruck) danke ich für die sehr gute Zusammenarbeit und den Teamgeist bei der Datenerhebung an den Tiroler Schulen.

Herrn Dr. W. Söllner (Universitätsklinik für Medizinische Psychologie und Psychotherapie, Innsbruck) möchte ich für die interessante Zusammenarbeit bei der Gesamtstudie „Prävalenz, anthropomorphometrische Charakteristika und psychosoziale Einflussfaktoren von Kreuzschmerzen im Schulalter“ und Herrn M. Watzdorf (Institut für Biostatistik der Universität Innsbruck) für die ausführliche statistische Analyse unserer Daten danken.

Ganz besonders möchte ich Herrn Dr. med. S. Trobos (Orthopädische Klinik der Universität Innsbruck) für die hervorragende Einarbeitung, die Begeisterung und Motivation bei der Datenerhebung und die Unterstützung bei den ersten Schritten der schriftlichen Ausarbeitung meiner Dissertation danken. Seiner Familie danke ich für den jederzeit warmen und herzlichen Empfang und für ein Stück Heimat in der Fremde.

Ich danke meinen lieben Freunden für die unersetzliche Unterstützung in allen Lebenslagen. Meiner lieben Mummu danke ich für viele Lebensweisheiten und ihre Lebensfreude, die mich auch bei dieser Arbeit motiviert hat.

In Dankbarkeit widme ich diese Dissertation meiner Familie: Wohin ich auch gehe, ich werde niemals vergessen, wer mir half, dorthin zu kommen.