

Aus dem Institut für Rehabilitation und Behindertensport der  
Deutschen Sporthochschule Köln  
Geschäftsführender Leiter: Univ.-Prof. Dr. Klaus Schüle

---

**Die Auswirkungen einer 90tägigen Liegephase auf  
Rückenschmerzen und die Bewegungsaktivität  
der Rückenmuskulatur**

von der Deutschen Sporthochschule Köln  
zur Erlangung des akademischen Grades  
der Sportwissenschaften genehmigte Dissertation

**vorgelegt von  
Sven Röhrich  
aus Kronstadt**

**2007**

Erster Referent: Prof. Dr. rer. nat. Klaus Baum  
Zweiter Referent: Univ.-Prof. Dr. Dr. Dieter Eßfeld  
Vorsitzende des Promotionsausschusses: Univ.-Prof. 'in Dr. Ilse Hartmann-Tews

---

Datum des Rigorosums: 08.08.2007

Hierdurch versichere ich an Eides Statt:

Ich habe die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen angefertigt; sie hat noch keiner anderen Stelle zur Prüfung vorgelegen. Wörtlich übernommene Textstellen, auch Einzelsätze oder Teile davon, sind als Zitate kenntlich gemacht worden.

Köln, 22. Februar 2007

## Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
Abb.	Abbildung
BMI	Body Mass Index
BWS	Brustwirbelsäule
C	Cervix
cm	Zentimeter
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
CT	Computertomographie
EKG	Elektro-Kardiogramm
EMG	Elektro-Myogramm
ESA	European Space Agency
Ext. <sub>max</sub>	Maximale Extension
Flex. <sub>max</sub>	Maximale Flexion
g	Gramm
G	Gravitation
h	Stunde
HIV	Human Immunodeficiency Virus
hz	Hertz
iEMG	Integriertes Elektro-Myogramm
kg	Kilogramm
KG	Kontrollgruppe
kHz	Kilo-Hertz
L	Lumbaler Wirbelsäulenabschnitt
li.	links
LSD	Least-Significant Difference
LTBR	Long Term Bed Rest
LWS	Lendenwirbelsäule
m	Meter
M.	Musculus
MB	Megabyte
MG	Mobilisationsgruppe
mm	Millimeter
MRI	Magnetic Resonance Imaging
MRT	Magnetic Resonance Tomography
mVs	Millivoltsekunde
n	Stichprobenumfang
NASA	National Aeronautics and Space Administration (USA)
NASDA	National Aeronautics and Space Development Agency (Japan)
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
p. a.	per annum
RCT	Randomised controlled trial
re.	rechts
Rs	Spearman-Rangkorrelationskoeffizient
s	Sekunde/n

## Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
SD	Standardabweichung
SE	Standardfehler
TG	Trainingsgruppe
Th	Thorakaler Wirbelsäulenabschnitt
V	Volt
$\bar{x}$	Arithmetischer Mittelwert

---

<b>1</b>	<b><i>Einleitung</i></b> .....	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Zivilisationserkrankung Rückenschmerzen</b> .....	<b>1</b>
1.1.1	Einführung in die Thematik.....	1
1.1.2	Bisherige Behandlung – Kritik .....	2
<b>1.2</b>	<b>Forschungsstand bei der Prävention bzw. Behandlung von Rückenschmerzen</b> .....	<b>3</b>
1.2.1	Einteilung von Rückenschmerzen .....	3
1.2.2	Risikofaktoren für die Entstehung von Rückenschmerzen .....	5
1.2.3	Prävention von Rückenschmerzen.....	7
1.2.4	Diagnostik und Behandlung von Rückenschmerzen .....	10
<b>1.3</b>	<b>Zielsetzung und methodischer Ansatz der Arbeit</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b><i>Methode</i></b> .....	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Untersuchungsverlauf</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Probandenauswahl</b> .....	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>Die Probanden</b> .....	<b>17</b>
<b>2.4</b>	<b>Das Bewegungsprogramm der Mobilisationsgruppe</b> .....	<b>18</b>
<b>2.5</b>	<b>Einbindung der Probanden in den experimentellen Ablauf</b> .....	<b>20</b>
<b>2.6</b>	<b>Untersuchungszeitpunkte</b> .....	<b>20</b>
<b>2.7</b>	<b>Messmethoden</b> .....	<b>21</b>
2.7.1	Ultraschalldiagnostik .....	21
2.7.2	Elektromyographie .....	26
2.7.3	Schmerzfragebogen .....	30
<b>2.8</b>	<b>Statistik</b> .....	<b>31</b>
<b>3</b>	<b><i>Ergebnisse</i></b> .....	<b>33</b>
<b>3.1</b>	<b>Rückenschmerzen</b> .....	<b>33</b>
<b>3.2</b>	<b>Wirbelsäulenlänge</b> .....	<b>36</b>
<b>3.3</b>	<b>Bewegungsamplitude</b> .....	<b>40</b>
<b>3.4</b>	<b>Beweglichkeit</b> .....	<b>42</b>
<b>3.5</b>	<b>Gesamtbewegung</b> .....	<b>45</b>
<b>3.6</b>	<b>Nächtliches Bewegungsverhalten</b> .....	<b>48</b>
<b>3.7</b>	<b>EMG-Aktivität während der Nachtphase</b> .....	<b>49</b>
<b>3.8</b>	<b>EMG-Aktivität und Schmerz</b> .....	<b>51</b>

---

3.9	Schmerz und Bewegungsverhalten .....	53
3.10	EMG-Aktivität und Bewegungsverhalten .....	54
4	<i>Diskussion</i> .....	56
4.1	Aufgetretene Rückenschmerzen beim Übergang von „normaler Aktivität“ zur Immobilisation .....	57
4.2	Potentielle Ursachen für die Pathogenese der aufgetretenen Rückenschmerzen .....	58
4.2.1	Veränderung der Wirbelsäulenlänge .....	59
4.2.2	Mikrorisse in Bandscheiben als Ursache für Rückenschmerzen .....	65
4.2.3	Eingeschränkte Bewegungsamplituden .....	67
4.2.4	Tonuserhöhung der wirbelsäulennahen Muskulatur .....	73
4.2.5	Rückenschmerzen und Psyche .....	77
4.3	Aufgetretene Rückenschmerzen beim Übergang von Immobilität zu „normaler Aktivität“ .....	79
4.4	Das Mobilisationsprogramm zur Linderung und Verhinderung von Rückenschmerzen .....	81
5	<i>Zusammenfassung</i> .....	84
	<i>Literaturverzeichnis</i> .....	87
	<i>Abbildungsverzeichnis</i> .....	100
	<i>Tabellenverzeichnis</i> .....	103
	<i>Quellen aus dem Internet</i> .....	104
	<i>Anhang</i> .....	105

# 1 Einleitung

An die Heilkraft der Bewegung glaubte der englische Arzt Sir Richard Asher bereits, als seine Kollegen noch jedem Patienten vollkommene Schonung verschrieben. Im Jahre 1947 äußerte er sich im British Medical Journal mit folgendem Zitat über einen im Bett liegenden Patienten:

*„Look at a patient lying long in bed. What a pathetic picture he makes. The blood clotting in his veins. The lime draining from his bones. The scybala stacking up in his colon. The flesh rotting from his seat. The urine leaking from his distended bladder. And the spirit evaporating from his soul“*  
(ASHER, 1947, S. 967 f.).

Sir Doktor Ashers Aufsatz zum Thema „Die Gefahren zu Bett zu gehen“ (ASHER 1947) ist aktueller denn je.

Wie man weiß, leben wir in einem Zeitalter mit zunehmendem Entwicklungstempo in nahezu allen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Bereichen. Aufgrund des damit einhergehenden technischen Fortschritts einerseits und der daraus resultierenden Ökonomisierung andererseits rückt die Bewegungsarmut des Menschen mit ihren negativen Folgen zunehmend in den Vordergrund (BLECH 2006).

## 1.1 Zivilisationserkrankung Rückenschmerzen

### 1.1.1 Einführung in die Thematik

Rückenschmerzen per se sind der zweithäufigste Grund für einen Arztbesuch (GÖBEL 2001). Im Altersbereich bis 64 Jahren haben sie sich zur häufigsten chronischen Erkrankung entwickelt.

Epidemiologischen Schätzungen zufolge leiden in etwa 85 % der Bevölkerung westlicher Industrienationen zumindest einmal in ihrem Leben an diesen Beschwerden (NACHEMSON et al. 2000). Rückenschmerzen mit einer vorherrschenden Punktprävalenz von ca. 40 % und einer Lebenszeitprävalenz von über 90 % scheinen alarmierend und zeigen im Gegensatz zu vielen anderen Erkrankungen einen kontinuierlichen Anstieg (KOHLMANN UND SCHMIDT 2004). Dabei sind 90 % aller Rückenschmerzen unspezifisch.

„Unspezifische Rückenschmerzen“ per Definition z. T. kontrovers diskutiert, gelten als Schmerzen, für die sich keine begründete Diagnose stellt und für die sich weder

ein zentraler Pathomechanismus noch eine irritierte Struktur finden lässt (LÜHMANN 2005).

Die Bedeutung dieser Schmerzen zeigt sich in ihrer großen Verbreitung, der höchsten Anzahl weltweit wissenschaftlicher Publikationen eines Fachgebietes und den enormen Belastungen für unser Gesundheitssystem. Allein in Deutschland sind dies zwischen 15 bis 20 Mrd. Euro p. a. (HILDEBRANDT 2005). Ein Großteil dieser Kosten entsteht aufgrund von Arbeitsunfähigkeit (BOLTEN et al. 1998).

Es bedarf einer Erklärung, warum Rückenschmerzen in den letzten Jahrzehnten bei der arbeitenden Bevölkerung trotz Technologiewandel, der Verlagerung körperlich erschwerender Arbeiten in andere Länder und der Zunahme von Beschäftigten im Bereich der Informationstechnologie stetig angestiegen sind.

### 1.1.2 Bisherige Behandlung – Kritik

WADDELL kam 1998 zu dem Urteil, dass die bisherige Behandlung von Rückenschmerzen inadäquat und nicht effektiv war. Er postulierte einen fundamentalen Wechsel in der Umgehensweise mit diesen (WADDELL 1998 (a)).

Dies wird von HILDEBRANDT (2005) verstärkt und belegt, indem er von einem „Paradigmenwechsel im Umgang mit dem Rückenschmerz (...)“ spricht.

Dieser Paradigmenwechsel erscheint in Deutschland vor allem auch deshalb notwendig, weil in der ersten Studie, die innerhalb Europas einen Vergleich der Kosten und der Qualität der Behandlung bei akuten Rückenschmerzen durchführte, Deutschland am schlechtesten abschnitt. Es handelte sich dabei um eine retrospektive multizentrische Studie. In ihr wurden die Qualität und die Kosten bei der Behandlung in England, Deutschland, den Niederlanden und der Schweiz miteinander verglichen (GANDJOUR et al. 2005). Dabei zeigte sich deutlich, dass in allen beteiligten Ländern erhebliche Kosten verschwendet wurden. Die Niederlande schnitt aufgrund der höchsten Qualität und dem geringsten Ressourceneinsatz am besten ab. In Deutschland wurden 31 % der bereitgestellten Gelder für unnötige und teure Untersuchungen und Medikationen verschwendet. Dabei stand der Kosteneinsatz in keinem rationellen Verhältnis zum Behandlungserfolg.

Eine Überversorgung der Bevölkerung mit bildgebenden Verfahren (Röntgen, CT, MRT) ist gegeben, während gleichzeitig deren diagnostische Trefferhäufigkeit überschätzt wird. Nur ein einziges von 2000 – wegen Rückenschmerzen – angefertigtes Röntgenbild führt dazu, dass die Ursache für den Schmerz gefunden wird (<http://de.wikipedia.org/Rückenschmerzen>, Online-Zugriff vom 24.03.2006). Grotesk in diesem Zusammenhang sind auch die Ergebnisse von

JENSEN et al. (1994). In ihrer randomisierten und kontrollierten Studie untersuchten sie mittels MRT die Lendenwirbelsäulen von 98 beschwerdefreien Personen. Dabei zeigten 52 % der Untersuchten eine Vorwölbung der Bandscheibe(n), 27 % einen Bandscheibenvorfall und 1 % einen Bandscheibenvorfall mit Kompression des umliegenden Gewebes. 38 % wiesen sogar Abnormalitäten an mehr als einer Bandscheibe auf (JENSEN et al. 1994).

Dies lässt mehr als die Vermutung zu, dass das Zusammentreffen von Schmerzen und pathologischen Bandscheibenbefunden in den meisten Fällen zufällig ist.

Feststeht, dass die unbefriedigende Situation diagnostischer Treffsicherheit unterschiedlicher Untersuchungsmethoden bei der Abklärung der Rückenschmerzursache das Leiden der Betroffenen kaum mindert. Im Gegenteil: diese fühlen sich selbst nach der frühzeitigen Abklärung ihrer Beschwerden oft allein gelassen und nicht ernst genommen (<http://de.wikipedia.org/Rücken-schmerzen>, Online-Zugriff vom 24.03.2006).

## 1.2 Forschungsstand bei der Prävention bzw. Behandlung von Rückenschmerzen

### 1.2.1 Einteilung von Rückenschmerzen

Rückenschmerzen unterliegen verschiedenen Bewertungsschemata, die sich je nach Autor zum Teil bezüglich ihrer Nomenklatur überlagern. Deshalb kann im Folgenden lediglich der Versuch unternommen werden, die aktuell maßgeblichen Einteilungsschemata vorzustellen.

Bei der Differenzierung von akuten und chronischen Schmerzen bezieht sich dies primär auf die Schmerzdauer (GERBERSHAGEN et al. 2001). So werden Rückenschmerzen bis zu einer Dauer von sechs Wochen als akut, bis zu zwölf Wochen als subakut und bei einer Dauer von mehr als zwölf Wochen als chronisch bezeichnet (SCHILGEN 2002).

Bei der Differenzierung nach spezifischen, radikulären und unspezifischen Rückenschmerzen steht die Schmerzursache im Vordergrund (PFINGSTEN et al. 2004, RASPE et al. 1998; WADDELL 1998 (b)). Zur Unterteilung dieser hat WADDELL (1998 (b)) die „Diagnostische Triage“ entwickelt. Ein vergleichbares Differenzierungsschema ist darüber hinaus bei BIGOS zu finden (BIGOS et al. 1994). Die diagnostische Triage ermöglicht eine Einteilung der verletzten Personen nach der Schwere ihrer Verletzungen:

1.) Ca. 1 % aller Rückenschmerzen ist spezifischer (oder komplizierter) Natur. Zu diesen Diagnosen zählen maligne Tumoren, Cauda Equina Syndrome, Infektionen, Aneurysmen, Frakturen der Wirbelsäule oder entzündliche Erkrankungen (MALMIVAARA et al. 2006, WADDELL 1998 (b)). Für die Identifizierung dieser Art von Rückenschmerzen haben sich sog. „red flags“ als hilfreich erwiesen (FISCHER et al. 2001, ARONOFF et al. 2000, GATCHEL et al. 1999, WADDELL 1998 (b)). Zu den „red flags“ gehören:

- Ursprung der Schmerzen vor dem 20. oder nach dem 55. Lebensjahr,
- ein aktuelles Trauma,
- konstant progressive, nicht mechanische Schmerzen (keine Besserung durch Bettaufenthalt),
- Schmerzen im Bereich des Thorax,
- bereits vorhergegangene medizinische Diagnose eines bösartigen Tumors,
- eine lang dauernde Einnahme von Corticosteroiden,
- Drogenabusus, Immunsuppression, HIV,
- systematisches Unwohlsein,
- unerwarteter Gewichtsverlust,
- weit verbreitete neurologische Symptome,
- strukturelle Deformitäten und
- Fieber (Royal College of General Practitioners 1996 u. 1999).

Einzelne „red flags“ müssen nicht unbedingt auf eine spezifische Erkrankung hinweisen, bedürfen aber genauer Abklärung.

2.) Ein ebenfalls verhältnismäßig geringer Anteil von ca. 5 % der Rückenschmerzen äußert sich in radikulären Beschwerden. Bei diesen kann man von einer Kausalität durch Bandscheibenvorfälle, knöchernen Irritationen, Wirbelgleiten und Engpasssituationen ausgehen (WADDELL 1998 (b)).

- 3.) Über 90 % der auftretenden Rückenschmerzen sind unspezifischer (oder unkomplizierter) Art. Dies bedeutet, dass sich bei der Mehrzahl aller auftretenden Rückenschmerzen eine eindeutige Beziehung zu einer definierbaren körperlichen Pathologie nicht feststellen lässt. Es wird lediglich davon ausgegangen, dass der Beginn der Symptomatik in Zusammenhang steht mit einem körperlichen Trauma an (irgend-)einer Struktur der Wirbelsäule. Feststeht auch, dass das Ausmaß dieses Traumas in den meisten Fällen die Aufrechterhaltung der Schmerzen über Monate bis Jahre nicht erklären kann (LÜHMANN 2005).

### 1.2.2 Risikofaktoren für die Entstehung von Rückenschmerzen

Rückenschmerzen treten in allen Altersklassen und sozialen Schichten der Gesellschaft auf. Die Prävalenz bei Jugendlichen ist ähnlich der von Erwachsenen (WATSON et al. 2002) und die Prävalenz bei der arbeitenden Bevölkerung unterscheidet sich nicht nennenswert von der nicht arbeitenden Bevölkerung (NACHEMSON et al. 2000). Deshalb ist es besonders wichtig, Rückenschmerzen differenziert zu betrachten. Denn sowohl das „einfache Auftreten“ von Symptomen bis hin zur Erwerbsunfähigkeit aufgrund von Rückenschmerzen hat unterschiedliche Prävalenzraten und wird von einer Bandbreite biologischer, psychologischer und sozialer Faktoren beeinflusst (NACHEMSON et al. 2000, BURTON 1997). So kann z. B. eine Episode von Rückenschmerzen ohne klar ersichtlichen Grund auftreten oder Folge eines strapaziösen Ereignisses sein, das sich während der Arbeit oder in der Freizeit ereignet hat, wohingegen Erwerbsunfähigkeit und Krankheitsfehltag größtenteils durch psychosoziale Faktoren beeinflusst werden (WADDELL UND BURTON 2000).

Risikofaktoren für die Entstehung von Rückenschmerzen sind relevant und stehen selbstredend im engen Zusammenhang mit deren Prävention. Das Problem, das hierbei auftritt ist, dass diese Faktoren zum Teil nicht abschließend belegt und – je nach Literatur - widersprüchlich dokumentiert sind. Einer der Risikofaktoren, über den sich die meisten Autoren einig sind, ist eine vorangegangene Episode von Rückenschmerzen. Das Risiko einer Neuerkrankung ist dadurch innerhalb von zwölf Monaten verdoppelt (HESTBAEK et al. 2003). Die bedeutende Rolle dieses Risikofaktors wird von mehreren anderen Autoren unterstützt (KÖSTERMEYER et al. 2005; PFINGSTEN 1998, FRANK et al. 1996, TROUP et al. 1987). Ein präventiver Ratschlag, den ein Arzt/Therapeut seinen Patienten relativ gesichert geben kann, ist also „vermeide Rückenschmerzen!“. Es erscheint in diesem Zusammenhang unstrittig, dass

dieser alleinige präventive Ansatz nicht nur für Patienten unbefriedigend und nahezu paradox klingen muss.

Nach BATTIE et al. (1995) spielt die Genetik der einzelnen Person wahrscheinlich eine bedeutende Rolle für eine Prädisposition der Rückenschmerzen. In Familienstudien und Untersuchungen an Zwillingen konnte nachgewiesen werden, dass genetischen Faktoren tragende Bedeutung bei der Auslösung von radikulären Beschwerden zukommen (ALA-KOKKO 2002).

CHAN et al. (2006) geben diesbezüglich sogar ein über sechsfach erhöhtes Risiko in Relation zur „Allgemeinbevölkerung“ an.

Als weitere Risikofaktoren werden harte körperliche Arbeit, häufiges Bücken, Heben, Drehen, Ziehen und Schieben, wiederholende Arbeitstätigkeiten, statische Positionen und Vibration genannt (HARTMANN 2003, ANDERSON 1997).

Negativer Stress, Angst, Depression, Schmerzverhalten, Jobunzufriedenheit und mentaler Stress bei der Arbeit gelten als psychosoziale Risikofaktoren und werden auch als „yellow flags“ bezeichnet (SCHULTZ et al. 2003, LINTON 2000, HOOGENDOORN et al. 2000, ANDERSON 1997).

Weitere individuelle Faktoren, wie beispielsweise das Alter (WADDELL 1998 (b), RIIHIMÄKI 1991), Körpergewicht (BMI) (LEBOEUF-YDE 2000) oder Zigarettenkonsum (NACHEMSON UND VINGARD 2000, GOLDBERG et al. 2000) haben nur eine schwache bis gar keine Evidenz im Zusammenhang mit der Entstehung von Rückenschmerzen. Die beiden letztgenannten Risikofaktoren betreffen wohl eher den allgemeinen Gesundheitszustand einer Person, als dass sie das Auftreten von Rückenschmerzen beeinflussen.

In der heutigen Zeit bilden zunehmende Inaktivität und Immobilisierung Risikofaktoren, die folgende physische Dekonditionierungen bewirken und Schmerzen verursachen können:

- Reduzierte muskuläre Kraft im Rücken, Bauch und dem Bereich der unteren Extremitäten,
- Hypermobilität im lumbalen Abschnitt der Wirbelsäule,
- Hypomobilität der Hüftgelenke (Hilde und Bo 1998).

Auch unverhältnismäßige und unkontrollierte körperliche Aktivität kann als provozierender und verschlechternder Faktor wirken. So vermag diese wiederholt subklinische oder schwerwiegendere Verletzungen der Rückenstrukturen induzieren (SUNI 2000).

Kontrollierte körperliche Aktivität hingegen verbessert die Durchblutung der Strukturen. Des Weiteren bewirkt sie, die Entwicklung bzw. den Verlauf von Rückenschmerzen indirekt oder unspezifisch positiv zu verändern, indem sie Einfluss auf das Körpergewicht, die Stimmung, Wahrnehmung und Motivation nimmt. Außerdem wirkt sie der physiologischen, durch Inaktivität und Immobilisierung verursachten Dekonditionierung entgegen (VUORI 2001).

Feststeht, dass auch aufgrund der hohen Lebenszeitprävalenz von Rückenschmerzen offensichtlich nur begrenzte Möglichkeiten bestehen, ihr Auftreten zu verhindern. Hinzu kommt, dass – wie oben hinreichend dargestellt – die Mechanismen bei der Pathogenese von Rückenschmerzen größtenteils unbekannt sind. Unabhängig davon konnte anhand aktueller Ergebnisse nicht ursächlich herausgestellt werden, dass durch eine Verringerung/Ausschaltung von Risikofaktoren das Auftreten von Rückenschmerzen nachhaltig verhindert werden konnte ([www.backpaineurope.org](http://www.backpaineurope.org), Online-Zugriff vom 22.04.2006).

### 1.2.3 Prävention von Rückenschmerzen

Eine Differenzierung nach primärer, sekundärer und tertiärer Prävention erfolgte in der Definition von FRANZKOWIAK (1999).

In der Literatur findet man unterschiedliche Ansätze zur Prävention von Rückenschmerzen. Diese reichen unter anderem von unimodalen Interventionen, wie das Tragen von Rückenstützbandagen, bis hin zu multimodalen Programmen, wie z. B. eine Kombination aus Erziehungs- und Bewegungsprogrammen. Die Problematik hierbei besteht darin, dass viele Studien nicht den wissenschaftlichen Standards entsprechen. Diesen wissenschaftlichen Standards entsprechen die systematischen Reviews von POPPEL et al. (2004), TVEITO et al. (2004) und LINTON UND TULDER (2001), die gezielt präventive Ansätze zur Verhinderung bzw. Linderung der Folgen von Rückenschmerzen bewerten. Letztgenannte Autoren untersuchten den Einsatz von Rückenstützbandagen im lumbalen Abschnitt der Wirbelsäule, die Wirksamkeit von Rückenschulen und Verhaltenstraining, den Einsatz von Gymnastik und die Veränderung der Ergonomie am Arbeitsplatz. Die Autoren kommen einheitlich zu dem Schluss, dass körperliches Training per se einen moderat effektiven Einfluss bei der Prävention von Rückenschmerzen hat (hierauf wird im Folgenden noch genauer eingegangen werden).

Die im November des Jahres 2004 publizierten „*Guidelines on Prevention in low Back Pain*“ ([WWW.BACKPAINEUROPE.ORG](http://WWW.BACKPAINEUROPE.ORG), Online-Zugriff vom 16.03.2006.) gehen prinzipiell von einer beträchtlichen Möglichkeit der Prävention bei der Verhinderung

bzw. Minderung der Folgen von Rückenschmerzen aus. Die Arbeitsgruppe, die sich mit der Erarbeitung dieser Richtlinien beschäftigte, verweist aber auch darauf, dass der primärpräventive Ansatz lediglich eine untergeordnete Rolle spielt. Dies zeigt sich vor allem aufgrund der hohen Lebenszeitprävalenz von Rückenschmerzen.

Darüber hinaus ist der Zustand „kein Schmerz“ unbewusst, d. h., er ist nicht spürbar und dementsprechend reagieren die meisten Menschen erst beim Auftreten von Schmerzen.

Deshalb kommen vor allem dem sekundärpräventiven (Auftreten von erneuten Rückenschmerzen) und dem tertiärpräventiven Ansatz (Verhinderung einer Beschwerdezunahme) eine tragende Bedeutung zu.

Das Ziel der Arbeitsgruppe war die Erarbeitung evidenzbasierter Richtlinien und Empfehlungen zur Unterstützung zukünftiger nationaler und internationaler Richtlinien bzw. die Aktualisierung bereits bestehender Rückenschmerzrichtlinien.

Hierfür wurde die wissenschaftliche Literatur bis Ende 2003 untersucht. Bei der Suche setzte man spezielle Schlüsselwörter ein.

Die Evidenz der Richtlinien für die Prävention von Rückenschmerzen basierte auf einem vierstufigen Schema, das auch für andere Richtlinien im COST Action B13 Programm benutzt wurde:

Level A: Allgemein bestehende Befunde unterstützt durch einen (systematischen) Überblick vielfältiger RCT's (Randomized Controlled Trials).

Level B: Allgemein bestehende Befunde unterstützt durch einen (systematischen) Überblick vielfältiger schwächerer wissenschaftlicher Studien.

Level C: Eine RCT / schwächere wissenschaftliche Studie oder inkonsistente Befunde unterstützt durch einen (systematischen) Überblick vielfältiger schwächerer wissenschaftlicher Studien.

Level D: Keine RCT's oder keine schwächeren wissenschaftlichen Studien.

Der Terminus „*schwächere wissenschaftliche Studien*“ wurde verwendet, um nicht-randomisiert kontrollierte Untersuchungen, kontrollierte Vorher-Nachher Studien, unterbrochene Zeit-Reihen Designs sowie epidemiologische Longitudinalstudien einzuschließen. Das „Level“ bewertet die Stärke der Evidenz. Dabei ist es aber eher ein Indikator für die Übereinstimmung bei der Empfehlung, als deren Bedeutung für ihre Einflussnahme.

Die Arbeitsgruppe ging davon aus, dass unterschiedliche Interventionen und Ergebnisse auf unterschiedliche Zielpopulationen (wie z. B. die Allgemeinbevölkerung, Arbeiter oder Kinder) zugeschnitten sind. Dabei sind Überschneidungen unvermeidbar. Die unterschiedlichen Interventionsansätze sind dadurch begründet, dass die Entstehung von Rückenschmerzen durch eine große Bandbreite biologischer, psychologischer und sozialer Faktoren beeinflusst wird und umgekehrt deren Wirksamkeit ebenfalls zielgruppenspezifisch zu sehen ist.

Die Allgemeinbevölkerung an sich dient als Fokus für die Prävention von Rückenproblemen und gilt als größte und heterogenste Gruppe. In diese sind unterschiedliche Altersgruppen, Personen mit und ohne Rückenschmerzen, die arbeitende und nicht arbeitende Bevölkerung sowie weitere mögliche Subgruppen eingeschlossen. Personen unter 18 Jahren sind ausgeschlossen. Für diese größte und heterogenste Gruppe sollen im Folgenden die Ergebnisse der einzelnen präventiven Ansätze zusammengefasst werden:

- Körperliches Training wird empfohlen zur Verhinderung von Krankheitsfehltagen sowie dem erneuten Auftreten bzw. dem Andauern neuer Episoden von Rückenschmerzen (Level A). Es besteht aber ungenügend konsistente Evidenz zur Empfehlung bzw. Ablehnung spezifischer Übungen und ihrer Intensitäten (Level C).
- Aufklärung und Erziehung sollten hinsichtlich von Rückenproblemen in Betracht gezogen werden, wenn sie sich auf biopsychosoziale Prinzipien stützen (Level C). Aufklärung und Erziehung, die auf rein biomedizinischen oder biomechanischen Modellen basieren, können nicht empfohlen werden (Level C).
- Traditionelle Rückenschulen, die sich auf biomedizinische/biomechanische Informationen beziehen und darauf aufbauend Ratschläge und Vorschriften machen, können nicht empfohlen werden (Level A). Programme mit hoher Intensität, die sowohl Erziehung/Fachkenntnis als auch körperliches Training beinhalten, sind bei Patienten mit wiederkehrenden und andauernden Rückenschmerzen zu empfehlen (Level B).
- Lumbale Unterstützung sowie Rückengurte sind nicht wirksam (Level A).
- Es gibt keine hohe Evidenz bei der Empfehlung spezieller Stühle oder Matratzen zur Prävention von Rückenschmerzen (Level C).
- Ebenso gibt es keine Evidenz zur Empfehlung manipulativer Behandlung (Level D).

- Das Tragen von Schuheinlagen kann nicht empfohlen werden (Level A). Es gibt nur unzureichende Evidenz bei der Empfehlung für oder gegen eine Korrektur der Beinlänge (Level D).

Damit steht fest, dass körperliches Training und multidisziplinäre Modelle aktuell die einzigen Interventionen sind, die einen präventiven Einfluss auf Rückenschmerzen haben. Hinsichtlich körperlichen Trainings besteht allerdings die Problematik, dass keine Evidenz besteht, bei der Empfehlung von geeigneten oder nicht geeigneten Übungen sowie der Intensität des Trainings.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass bei der Prävention von Rückenschmerzen evidenzbasierte Interventionsmaßnahmen bekannt sind, dass jedoch die Dosierung oder Art der Intervention aktuell noch weiterer Forschung bedürfen, um eindeutige und effiziente Handlungsempfehlungen für die einzelne Person aussprechen zu können.

#### 1.2.4 Diagnostik und Behandlung von Rückenschmerzen

Über viele Jahre war bei den weit verbreiteten unspezifischen Rückenschmerzen eine therapeutische Einstellung vorherrschend, die auf falschen Tatsachen beruhte: Es wurde traditionell von der Auffassung ausgegangen, dass sich vor allem Krankheiten am Bewegungssystem des Menschen durch Schonung und Immobilisierung verbessern (HILDEBRANDT 2005). Rückenschmerzen wurden durch das Auferlegen von Bettruhe behandelt. Das Ziel hierbei war, dem Körper Zeit zu geben, sich selbst zu heilen. NACHEMSON (1976) stellte z. B. fest, dass eine Position in Rückenlage mit angebeugten Beinen und Hüften den Druck in den lumbalen Bandscheiben reduziert und damit eine Schmerzlinderung bewirkt.

Obwohl Bettruhe bei akuten Rückenschmerzen eine kurzfristige Schmerzlinderung herbeiführen kann, ist sie jedoch nicht in der Lage, die Funktionalität des Systems wiederherzustellen. Stattdessen führt länger auferlegte Bettruhe zu einigen gut belegten negativen Folgen (CASAZZA et al. 1998, YOUNG et al. 1997).

Mit auferlegter verlängerter Bettruhe als das Mittel der Wahl gehen einher:

- Abnahme der maximalen aeroben Kapazität (Astrand und Rodahl 1986, Coyle et al. 1985, Gilbert et al. 1985, Saltin et al. 1968),
- Anstieg der Ruheherzfrequenz (Astrand und Rodahl 1986, Coyle et al. 1985, Gilbert et al. 1985, Saltin et al. 1968),
- Veränderte Fibrinolyse/Coagulation (Bowman et al. 1994),

- Reduktion des oxidativen Enzymniveaus in der Skelettmuskulatur (Klaussen et al. 1981, Hendriksson und Reitman 1977),
- Reduzierte Plastizität des Bindegewebes (Halar und Bell 1988),
- Reduzierte Knochenmineralisierung (Halar und Bell 1988, Astrand und Rodahl 1986),
- Verminderter Muskelquerschnitt und eine Einbuße der Kraft (Booth und Gollnick 1983, Muller 1970, Eichelberger et al. 1958),
- Psychologische Effekte, wie das Annehmen/Akzeptieren der „Krankenrolle“ (Bowman et al. 1994).

Auch im Umgang mit der Thematik der akuten unspezifischen Rückenschmerzen ist es innerhalb der letzten Jahre zu einem Paradigmenwechsel gekommen: Nicht Inaktivität und Immobilisation werden den Betroffenen empfohlen, sondern im Gegenteil, man rät ihnen dazu, den Heilungsprozess durch Aktivität und Mobilisation zu beschleunigen (HILDEBRANDT 2005).

Hinsichtlich der allgemeinen Diagnostik von Rückenschmerzen, auf Basis der europäischen Leitlinien, gilt aktuell:

- Initial sollte eine Anamnese und kurze medizinische Untersuchung durchgeführt werden.
- Wenn die Krankengeschichte auf eine spezifische Pathologie der Wirbelsäule oder Nervenwurzel syndrome verweist, sollten umfangreichere Untersuchungen, einschließlich eines neurologischen Screenings, eingesetzt werden.
- Durch den Einsatz der „Diagnostischen Triage“ (siehe Kapitel 1.2.1 Einteilung von Rückenschmerzen) wird eine Basis für die Behandlung geschaffen.
- Zur Diagnostik gehört weiterhin die Suche nach den psychosozialen Risikofaktoren - auch „yellow flags“ genannt (siehe Kapitel 1.2.2 Risikofaktoren für die Entstehung von Rückenschmerzen), die für eine Chronifizierung relevant sein können und bei der Therapie von akuten Rückenschmerzen unbedingt mitberücksichtigt werden müssen.
- Der Einsatz bildgebender Verfahren (einschließlich Röntgenuntersuchungen, CT's und MRI's) ist für unspezifische Rückenschmerzen nicht routinemäßig indiziert.

- Patienten, die sich innerhalb weniger Wochen nach dem ersten Besuch nicht erholen bzw. bei denen sich der Krankheitsverlauf verschlechtert, sollten noch einmal untersucht werden ([www.backpaineurope.org](http://www.backpaineurope.org), Online-Zugriff vom 15.05.2006).

Wurden aufgrund der oben aufgeführten Maßnahmen akute unspezifische Rückenschmerzen bei einem Patienten diagnostiziert, sollte bei der Behandlung folgendes berücksichtigt werden:

Insbesondere gilt es den Patienten darüber zu informieren, dass akute unspezifische Rückenschmerzen größtenteils harmlos sind und sich normalerweise ein rascher Rückgang der Beschwerden einstellt. Wenn überhaupt Medikamente verschrieben werden müssen, kann eine adäquate Symptomkontrolle über ausreichend Analgetika/Muskelrelaxantien erfolgen. Diese werden vorzugsweise in regelmäßigen Intervallen verabreicht. Weiterhin sollte dem Patienten unbedingt nahe gelegt werden, trotz Schmerzen möglichst aktiv zu bleiben. Dies beinhaltet vor allem die Empfehlung, so schnell wie möglich zu normalen Alltagsaktivitäten zurückzukehren, wobei die Arbeit, wenn möglich, mit eingeschlossen sein sollte. Für Personen, die nicht in der Lage sind, ihre normalen Alltagsaktivitäten wieder aufzunehmen, kann eine spinale Manipulation in Betracht gezogen werden. Für Arbeiter, die vier bis acht Wochen der Arbeit fernbleiben müssen, könnten multidisziplinäre Programme in beruflichen Einrichtungen eine Option bieten. Als gesichert gilt das Aktivitätskonzept bei der Therapie von akuten unspezifischen Rückenschmerzen. Aus diesem Grunde sollten passive Behandlungsverfahren, wie Massagen, Elektrotherapie, Ultraschall, Kryotherapie, Traktion oder verordnete Bettruhe nicht routinemäßig eingesetzt und als Monotherapie vermieden werden. Des Weiteren bringt das Einsetzen physiotherapeutischer Verfahren und spezieller Bewegungstherapie in den ersten vier Wochen keinen zusätzlichen Nutzen (modifiziert nach HILDEBRANDT 2005 und den aktuellen „Europäischen Richtlinien im Umgang mit akuten unspezifischen Rückenschmerzen“, [www.backpaineurope.org](http://www.backpaineurope.org), Online-Zugriff vom 24.05.2006).

Das Aktivitätskonzept als Therapie der Wahl bei akuten unspezifischen Rückenschmerzen ist nicht zu verwechseln mit dem Einsatz von Bewegungstherapie. Bewegungstherapie wird nach VAN TULDER et al. (2003) als verordnetes oder überwachtes Programm definiert, wobei die teilnehmenden Personen wiederholt freiwillige, dynamische Bewegungen oder Muskelkontraktionen durchführen. Diese Übungen bzw. Positionen betreffen entweder den ganzen Körper oder spezielle Regionen und werden mit oder ohne externe Last durchgeführt.

Belegt wird dies auch in den systematischen Reviews von HAYDEN et al. (2005) und SMIDT et al. (2005), die den Einsatz von Bewegungstherapie als Behandlung für unspezifische Rückenschmerzen in der Literatur zusammenfassen. Dabei kommen die Autoren zu dem Schluss, dass die Therapie bei chronischen Rückenschmerzpatienten eine geringfügige Schmerzminderung und Verbesserung der Funktionalität bewirkt.

Bei akuten Rückenschmerzen ist der Einsatz von bewegungstherapeutischen Maßnahmen genauso effektiv wie keine Behandlung oder andere konservative Therapien.

Demzufolge sind weitere Studien notwendig, die im Hinblick auf den „Paradigmenwechsel im Umgang mit den Rückenschmerzen...“ gezielte Empfehlungen hinsichtlich des Aktivitätskonzeptes geben können.

### 1.3 Zielsetzung und methodischer Ansatz der Arbeit

Die aktuell zunehmende Bewegungsarmut der Menschen im Alltag und die damit einhergehende physische Dekonditionierung mit dem ansteigenden Risiko für die Entwicklung von Zivilisationserkrankungen sind übertragbar:

Erfahrungsgemäß entstehen Rückenschmerzen in Verbindung mit längerer Immobilisation. So zeigen sich diese oft bei Astronauten in der Schwerelosigkeit oder bei Probanden von Bettliegestudien. Auffallend hierbei ist, dass sie bereits zu Beginn des Aufenthalts in der Schwerelosigkeit oder während der ersten Tage der Liegephase auftreten. Es stellt sich die Frage, ob und in welchem Zusammenhang die Schmerzen mit strukturellen Anpassungen (wie z. B. Knochenmasseverlust und Muskelatrophie) aufgrund längerer Minderbelastung stehen. Diese initial auftretenden Schmerzen wurden bis heute auf einen schlechteren Flüssigkeitsaustausch der Bandscheiben zurückgeführt (HUTTON et al. 2003) oder mit einem Dehnungsschmerz des passiven Halteapparates der Wirbelsäule (Zunahme der gesamten Wirbelsäulenlänge) in Zusammenhang gebracht (STYF et al. 2001, STYF et al. 1997, HUTCHINSON et al. 1995, KRUPINA et al. 1967). Diesem steht aber die Tatsache gegenüber, dass maximale Bewegungen der Wirbelsäule (wie z. B. das Einnehmen der Fötalposition) bei Probanden spontan und intuitiv durchgeführt, schmerzlindernd wirken (BAUM UND EBFELD 1999, HUTCHINSON et al. 1995, WING et al. 1991, NACHEMSON 1976).

Dies weist darauf hin, dass Immobilisation als Auslöser von akuten unspezifischen Rückenschmerzen in Betracht gezogen werden kann.

Da die Wirbelsäule eine vielgliedrige kinematische Kette darstellt, ist deren gesamtes Bewegungsverhalten bei der Entstehung von Rückenschmerzen mit einzube-

ziehen. Hierfür wird die gezielte Erfassung des Bewegungsverhaltens der Probanden über einen längeren Zeitraum vorausgesetzt.

Untersuchungen in Schwerelosigkeit (BAUM UND EBFELD 1999, BAUM et al. 1997) weisen weiter darauf hin, dass die Skelettmuskulatur des Rückens über eine Synergie von Bewegungsreduktion und Tonuserhöhung die Schmerzgenese erklären könnte. Unterstützung findet diese Theorie dadurch, dass bereits länger andauernde isometrische Muskelkontraktionen mit sehr geringer Intensität zur Schmerzauslösung ausreichen (BAUM et al. 1995, SJOOGARD et al. 1986).

Feststeht, dass bis zu dem heutigen Zeitpunkt die Kausalität der Schmerzsymptomatik bzw. die Beteiligung morphologischer Strukturen an der Pathogenese von Rückenschmerzen bei Astronauten bzw. Probanden von Bettliegestudien nicht geklärt ist. Des Weiteren gibt es bis heute kaum geeignete methodische Zugänge, um vor allem die erwähnten funktionellen Parameter der Schmerzgenese zu untersuchen.

BAUM et al. verwenden seit einigen Jahren eine selbst-entwickelte Technik, die es erlaubt, einzelne Wirbelsäulenabschnitte kontinuierlich und nicht invasiv bis zu 56 Stunden am Stück zu betrachten. Dabei wird mittels Ultraschalldiagnostik die Entfernung zweier Punkte auf der Haut gemessen. Dieses System soll jetzt durch den Einsatz eines portablen und miniaturisierten EMG's ergänzt werden, das mögliche Tonuserhöhungen im Bereich der Rückenmuskulatur erkennbar macht. Die eingesetzten Systeme beeinträchtigen das Bewegungsverhalten der Probanden nur minimal. Weiterhin wird die Untersuchung mit dem Einsatz eines standardisierten Schmerzfragebogens ergänzt, der das subjektive Schmerzempfinden der Probanden qualitativ und quantitativ ermitteln soll.

Bisher durchgeführte Untersuchungen in Schwerelosigkeit und bei Bettliegestudien ergaben folgendes (BAUM UND EBFELD 1999, BAUM et al. 1997):

- Rückenschmerzen gehen einher mit einer Abnahme von Wirbelsäulenbewegungen. Dies betrifft die Häufigkeit aber auch die Amplituden der Bewegungen.
- Lokalisation und Art der Schmerzen ergeben ein typisches Muster: dumpfer, nicht-radikulärer Schmerz im Abstand von ca. 10 cm neben den Dornfortsätzen im lumbalen Abschnitt der Wirbelsäule.

- Statische Längenänderungen der Wirbelsäule korrelieren nicht mit der Schmerzintensität.
- Spontane einzelne Rückenbewegungen mit großer Amplitude reduzieren vorübergehend die Schmerzintensität.

Verminderte Bewegungen werden aufgrund dessen als Ursache und nicht als Folge der Rückenschmerzen angesehen.

Als Gegenmaßnahme hierzu werden langsame Rückenbewegungen mit großer Bewegungsamplitude empfohlen (BAUM und Eßfeld 1999). Dabei besteht - unabhängig von der unklaren Schmerzgenese - die Annahme, dass ein Mobilitätsprogramm in der sagittalen, frontalen und longitudinalen Ebene mit einer Dauer von ca. vier Minuten (mehrfach am Tage durchgeführt) zu einer Reduktion bzw. einer Prävention von Schmerzen während der Bettliegephase beitragen kann.

Ziel der Studie war es daher, im Rahmen einer Bettliegestudie mit Hilfe der eingesetzten diagnostischen Mittel die Kausalität der Entwicklung von akuten unspezifischen Rückenschmerzen während Immobilisation zu spezifizieren. Im Einzelnen sollen hierzu folgende Hypothesen untersucht werden:

- Rückenschmerzen betreffen die Probanden ohne Intervention mit einer maximalen Intensität während der ersten Liegetage,
- Rückenschmerzen gehen mit verringerten Bewegungsamplituden einher,
- Rückenschmerzen gehen mit einer verringerten Gesamtbewegung einher,
- Rückenschmerzen gehen mit einer gesteigerten EMG-Aktivität der wirbelsäulennahen Rückenmuskulatur einher,
- Rückenschmerzen gehen mit kürzeren bewegungsfreien Intervallen während der Schlafphase einher.

Des Weiteren gilt es, das zur Linderung bzw. Verhinderung der akuten unspezifischen Rückenschmerzen eingesetzte Mobilisationsprogramm zu validieren. Hierzu soll folgende Hypothese untersucht werden:

Langsame Bewegungen mit großer Amplitude verringern das Auftreten von Rückenschmerzen signifikant.

## 2 Methode

### 2.1 Untersuchungsverlauf

Die vorliegende Untersuchung war Bestandteil der "Long-term-bed-rest-study 2001-2002" (LTBR 2001-2002), die in Kooperation von ESA, NASDA und CNES organisiert und durchgeführt wurde.

Die Forschungsschwerpunkte umfassten funktionelle und strukturelle Adaptationen während simulierter Schwerelosigkeit in den Themengebieten

- Muskulatur und Knochen,
- Stoffwechsel,
- Herz-Kreislauf- und Gefäßsystem,
- Nervensystem,
- Rücken (als umfassende Thematik) sowie
- Maßnahmen gegen minderbelastungsbedingte Dekonditionierung.

Die LTBR-Studie beinhaltete zwei Untersuchungsperioden über jeweils vier Monate. Die Erste dauerte von August 2001 bis Dezember 2001, die Zweite startete im März 2002 und endete im Juli 2002. Den Liegephasen von jeweils 90 Tagen waren eine 16tägige Vorbereitungs- und eine 14tägige Erholungsphase, vor- bzw. nachgeschaltet. Die Studie fand in der Abteilung für Physiologie und Weltraummedizin "Clinique Spatiales MEDES IMPS" in Toulouse (Frankreich) statt.

### 2.2 Probandenauswahl

Die Probanden wurden in mehreren Selektionsverfahren ausgesucht. Für beide Untersuchungsperioden sollten insgesamt 28 gesunde Männer im Alter von 25 bis 45 Jahren gefunden werden. Ziel war es, eine möglichst homogene Gruppe zu selektieren.

Für die Akquisition der Probanden lag die Zuständigkeit bei der Einrichtung MEDES, welche die Probanden über die nationale Presse, das französische Fernsehen und über die Durchführung einer Pressekonferenz rekrutierte.

Eine Vorauswahl wurde bereits durch die schriftlich eingereichten Bewerbungen getroffen. Es folgten weitere medizinische und psychologische Untersuchungen in der Untersuchungseinrichtung.

Für die zweite Kampagne wurden, trotz rechtzeitigem Beginn der Akquisition, nur elf Männer gefunden, die alle Einschlusskriterien der Studie erfüllten, so dass für die gesamte Studiendauer 25 Probanden zur Verfügung standen (14 für die erste und 11 für die zweite Untersuchungsperiode). Diese waren mit einer einzigen Ausnahme französischer Nationalität.

Kein Proband hatte im Vorfeld Rückenschmerzen oder hatte bis dato an einer ähnlichen Studie teilgenommen.

Die Ethikkommission akzeptierte alle eingereichten Experimente. Die Teilnehmer wurden vor Beginn der Studie über mögliche Risiken und Folgen informiert und erst dann zu der Studie zugelassen, wenn sie diese verstanden und ihr schriftliches Einverständnis gegeben hatten. Keiner der Probanden brach die Studie frühzeitig ab.

## 2.3 Die Probanden

Die ausgewählten 25 Probanden waren  $32,4 \pm 3,9$  Jahre alt und wogen bei einer Größe von  $174,6 \pm 4,0$  cm  $71,0 \pm 6,2$  kg. Die Teilnehmer wurden von dem medizinischen und psychologischen Team, das die gesamte Studie begleitete, in drei Gruppen eingeteilt:

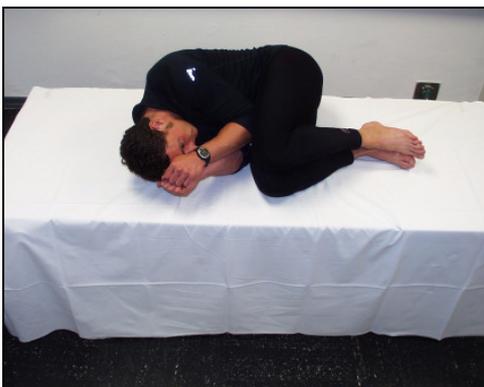
- Die Trainingsgruppe (TG,  $n=9$ ) trainierte dynamisch dreimal pro Woche die unteren Extremitäten an einer Beinpresse. Gegenstand dieses Trainings war die Untersuchung des Einflusses eines spezifischen Krafttrainings auf Muskel- und Knochenmasse.
- Die Kontrollgruppe (KG,  $n=9$ ) unterzog sich während der Liegephase keiner Intervention und lieferte damit Referenzdaten.
- Die Mobilisationsgruppe (MG,  $n=7$ ) führte während der gesamten Liegephase mehrfach täglich ein Bewegungsprogramm zur Prävention und Reduktion von Rückenschmerzen durch.

Gruppe	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)
TG (n=9)	32,3±5,2	174,3±4,0	69,6±3,6
KG (n=9)	32,1±3,2	174,5±4,0	72,5±6,4
MG (n=7)	33,0±3,2	175,1±1,8	71,0±8,6
<b>Gesamt (n=25)</b>	<b>32,4±3,9</b>	<b>174,6±4,0</b>	<b>71,0±6,2</b>

Tabelle 1: Anthropometrische Daten der untersuchten Gruppen ( $\bar{x} \pm SD$ , TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).

## 2.4 Das Bewegungsprogramm der Mobilisationsgruppe

Die Probanden der Mobilisationsgruppe führten mit Beginn der Bettliegephase über den gesamten Zeitraum fünfmal täglich ein Mobilitätstraining zur Prävention bzw. Reduktion von Rückenschmerzen durch (siehe Abbildungen 1.a-h). Das Einüben des Bewegungsprogramms erfolgte unter Anleitung an zwei Tagen innerhalb der letzten Woche der Vorbereitungsphase. Dabei handelte es sich um Bewegungen der Wirbelsäule mit großer Amplitude, die in der frontalen, sagittalen und longitudinalen Ebene langsam und kontrolliert durchgeführt wurden. Die Endposition jeder Bewegung wurde für fünf Sekunden gehalten; die Bewegungsdauer von Anfangs- zur Endposition betrug ebenfalls fünf Sekunden. Jeder Bewegungsablauf erfolgte zweimal. Die Dauer des Gesamtablaufs betrug vier Minuten. Das Mobilitätstraining wurde von den Probanden selbständig protokolliert, die Übungsdurchführung regelmäßig kontrolliert. Zwischen jeder Übungseinheit lagen zwei bis drei Stunden Pause. Die Teilnehmer führten die Einheiten ausschließlich tagsüber durch. Folgende Abbildungen veranschaulichen die einzelnen Elemente des Mobilisationsprogramms:



1. a)



1. b)



1. c)



1. d)



1. e)



1. f)



1. g)



1. h)

- Abb. 1. a-b): Flexion und Extension von Oberkörper, Rumpf/Hüfte und Beinen in sagittaler Bewegungsrichtung wechselseitig auf der Körperseite re./li.;
- Abb. 1. c-d): Seitneigung des Oberkörpers in der Frontalebene nach re./li.;
- Abb. 1. e-f): Rotation Rumpf/Hüfte in der Longitudinalebene re./li.;
- Abb. 1. g-h): Rotation Oberkörper in der Longitudinalebene in Rückenlage re./li.

## 2.5 Einbindung der Probanden in den experimentellen Ablauf

Die Probanden hielten sich während der Studie ununterbrochen in der "Weltraumklinik" auf und waren zu zweit in einem Zimmer untergebracht. Während der Übergänge, also zwischen Vorbereitungs- und Liegephase und von Liege- zu Erholungsphase, waren die Probanden in eine Vielzahl medizinischer Untersuchungen eingebunden.

Ab dem zehnten Tag der Bettliegephase erhielten alle Teilnehmer regelmäßig Physiotherapie und Massagen. Begleitend zur Studie bekamen sie psychologische Unterstützung in Einzel- und Gruppengesprächen.

Die Studie basierte auf einem anti-orthostatischem Bettliege-Modell, das eine Körperlage von 6°-Kopftiefelage der Probanden vorsieht. Das Aufrichten des Oberkörpers während dieser Phase war den Probanden untersagt. Erlaubt waren jegliche Bewegungen um die Längsachse und auf der Frontalebene. Das zulässige Bewegungsausmaß wurde über Kameras in den Räumen sowie über eine eigens für die Studie entwickelte Matratze kontrolliert, die Schwerpunktverlagerungen sofort registrierte. Die Einnahme der täglichen Mahlzeiten erfolgte innerhalb der ersten Woche der Bettliegephase in Bauchlage. Dabei war es möglich, das Kopfende des Bettes als Tisch umzufunktionieren. Durch ein Stützen auf ihre Unterarme konnten die Probanden auf diese Weise ihre Mahlzeiten einnehmen. Nach Absprache mit dem leitenden Arzt durften die Studienteilnehmer ab der 2. Woche ihre Mahlzeiten wahlweise in Rückenlage oder seitlicher Position einnehmen.

Zwecks Freizeitgestaltung erhielt jeder Proband ein eigenes Notebook. Die Bedienung dessen wurde dem Probanden durch eine spezielle Halterung ermöglicht und setzte zur Nutzung die Rückenlage des Probanden voraus.

## 2.6 Untersuchungszeitpunkte

Gemessen wurde an zwölf Zeitpunkten der laufenden Studie. Drei Messungen erfolgten während der Vorbereitungsphase (am 13., 8. und 3. Tag vor der Liegephase im ersten Untersuchungszeitraum und am 14., 9. und 3. Tag vor der Liegephase im zweiten Untersuchungszeitraum). Während der Liegephase fanden sieben Messungen an den Tagen 1, 5, 8, 27, 48, 68 und 87 statt. Diese Messzeitpunkte waren für beide Kampagnen identisch.

In der Erholungsphase erfolgten zwei weitere Instrumentierungen (am 2. und 9. Tag), die ebenfalls in beiden Untersuchungszeiträumen zeitlich übereinstimmten.

Die Aufzeichnungsdauer betrug  $23 \pm 1$  Stunden.

Neben den Instrumentierungen an den einzelnen Untersuchungszeitpunkten wurde auch ein Schmerzfragebogen zur Erhebung der Schmerzsymptomatik eingesetzt. Dieser wurde von den Probanden während der Liegephase sogar täglich ausgefüllt. Weitere Informationen zum eingesetzten Schmerzfragebogen finden sich in Kapitel 2.7.3.

## 2.7 Messmethoden

### 2.7.1 Ultraschalldiagnostik

#### 2.7.1.1 Gerätebeschreibung und Versuchsdurchführung

Mit Hilfe einer Ultraschalldiagnostik wurde das Bewegungsverhalten der Probanden erfasst. Das Ultraschall-Messgerät der Firma Orthoson® ermöglichte die Erfassung der Entfernung zweier Hautpunkte entlang der Wirbelsäule. Hierzu diente die Ultraschall-Leitungsdauer durch die Haut, wobei die Distanz von miniaturisierten Ultraschallsendern- und Empfängern (Höhe 0,6 cm, Durchmesser 2,0 cm) gemessen wurde.

Die Messung ist temperaturunabhängig, da die Dichte des Hautgewebes im physiologischen Bereich nahezu konstant ist.

Die Schallausbreitungsgeschwindigkeit beträgt 1500 m/s und die Schallfrequenz 300 kHz. Das Ultraschallgerät hat eine Abmessung von 12,5cm\*6cm\*1cm, wiegt 180 g und wird durch zwei Batterien (1,5V, Typ AAAA) betrieben.

Die Probanden trugen das Gerät in der Fronttasche eines eigens hierfür entworfenen T-Shirts.

Die Positionierung der Sender und Empfänger war reproduzierbar, intraindividuell konstant und erfolgte durch Auflegen einer transparenten Schablone, auf der zur Positionserkennung Hautpigmentierungen eingezeichnet waren.

Vor der Fixierung mit hypoallergenem Klebevlies wurden die Sensoren mit Kleberingen versehen, die Probanden enthaart, deren Haut mit Alkohol gereinigt und Koppelgel aufgetragen.

Die acht Sensoren waren derart positioniert, dass sowohl der thorakale als auch der lumbale Bereich der Wirbelsäule getrennt voneinander vermessen werden konnten. Es erfolgte eine Bestimmung der Wirbelsäulenposition im lumbalen und thorakalen Bereich der Wirbelsäule.

Für den thorakalen Bereich wurden Sender und Empfänger rechts und links parallel zur Wirbelsäule (zwischen C7 und Th12/L1) fixiert. Auf Höhe von Th12/L1

wurden 5 cm lateral rechts und links zwei weitere Sensoren befestigt. Diese ermöglichen die Registrierung von Rotationsbewegungen, die bei der Auswertung jedoch keine Berücksichtigung fanden. Für den lumbalen Bereich wurden die Sensoren auf Höhe Th12/L1 befestigt. Zwei weitere wurden im Sakralbereich (L5/S1) positioniert.

Die folgende Abbildung veranschaulicht die Gesamtinstrumentierung beispielhaft:

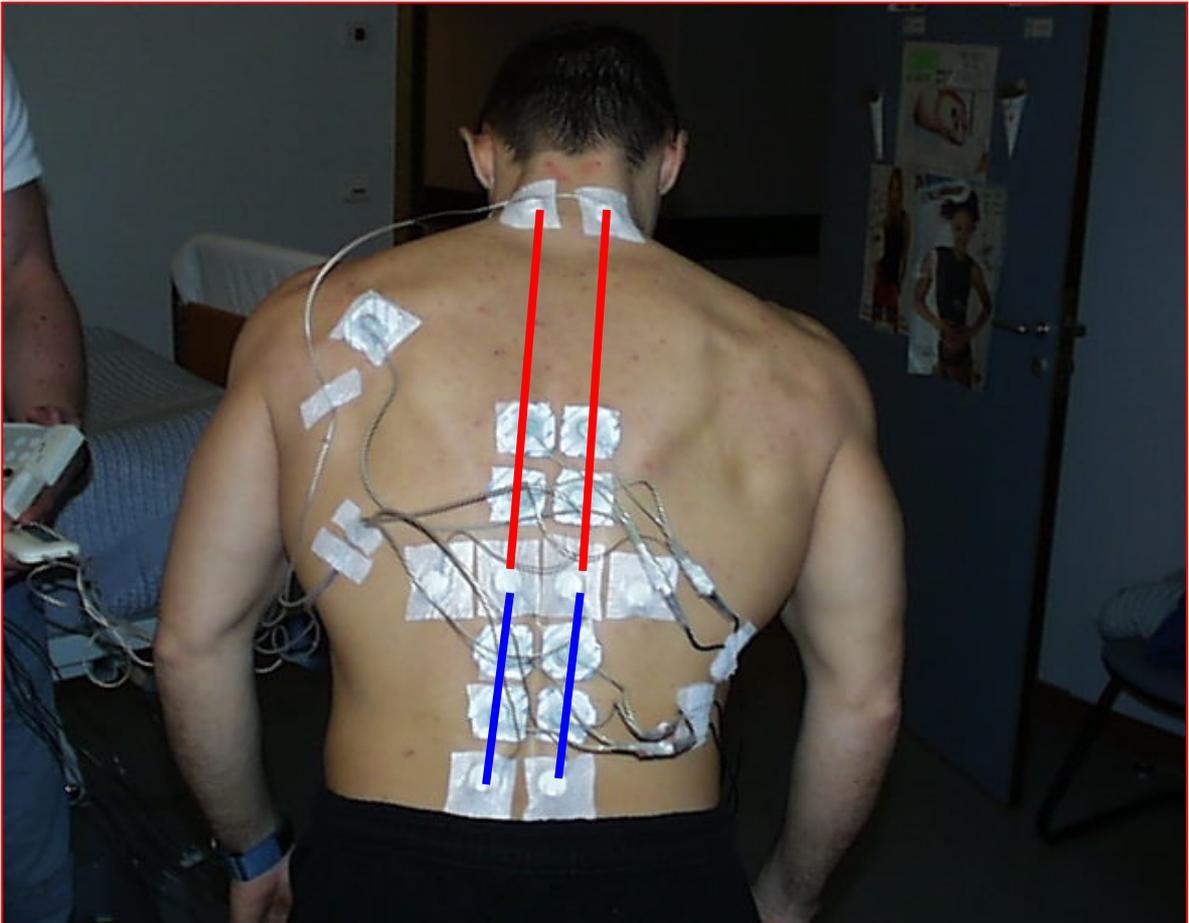


Abb. 2: Beispielhafte Darstellung der Gesamtinstrumentierung mit Fokus auf die Ultraschalldiagnostik: Der rote Streckenbereich entspricht dem thorakalen Messbereich von C7 bis TH12/L1. Der blaue Streckenbereich entspricht dem lumbalen Messbereich von TH12/L1 bis L5/S1.

Die dargestellte Instrumentierung ermöglichte die Bestimmung einer Flexion bzw. Extension in der Sagittalebene bei gleicher Längenänderung der parallelen Strecken eines Wirbelsäulensegmentes.

Bei Differenzen hinsichtlich der parallelen Seiten eines Segmentes war eine Seitneigung/-aufrichtung in der Frontalebene gegeben.

Jeder einzelne Sensor war durch ein Kabel mit der zentralen Einheit (Orthoson<sup>®</sup>) verbunden, wobei die Daten mit 1 Hz über 23±1 Stunden aufgezeichnet und gespeichert wurden.

Zur Weiterverarbeitung der Rohdaten wurden diese anschließend auf einen Computer übertragen und mit Hilfe von Origin 6.1 in Form von Zeitreihen, Häufigkeitsverteilungen und Symmetrieanalysen ausgewertet.

### 2.7.1.2 Parameter der Wirbelsäulen-Geometrie

Die aufgezeichneten Daten geben Auskunft über:

#### 1. **Das maximal mögliche thorakale und lumbale Bewegungsausmaß.**

Diese als Flexibilität bezeichnete maximale Bewegungsamplitude wurde in Standardpositionen gemessen. Jene wurden in einem festgelegten Bewegungsablauf durchgeführt. Dieser beinhaltete:

- Rückenlage des Probanden für 30 s,
- Wechsel in den Vierfüßlerstand,
- maximale Flexion der Wirbelsäule für 15 s,
- maximale Extension für 15 s,
- Übergang in den Stand,
- ruhiges Stehen für 30 s,
- Lateralflexion in der Frontalebene nach links für 15 s,
- Lateralflexion nach rechts für 15 s,
- Rotation nach links um die Longitudinalachse für 15 s und
- Rotation nach rechts für 15 s.

Die Standardpositionen wurden vor und nach der Liegephase erfasst. Während der 6°-Kopftieflage konnten sie nicht durchgeführt werden, da dies zu Interferenzen mit den anderen Experimenten geführt hätte. Über die Positionen erfolgte schließlich eine Quantifizierung der Beweglichkeit der Probanden. Zugrunde lag dieser die Berechnung des Flexibilitätsindex über folgende Formel:

$$\text{Flexibilitätsindex} = \frac{(\text{Flex.}_{\text{max}} - \text{Ext.}_{\text{max}}) * 100}{\text{Flex.}_{\text{max}}}$$

Flex.<sub>max</sub> = maximale Flexion in Standardposition

Ext.<sub>max</sub> = maximale Extension in Standardposition

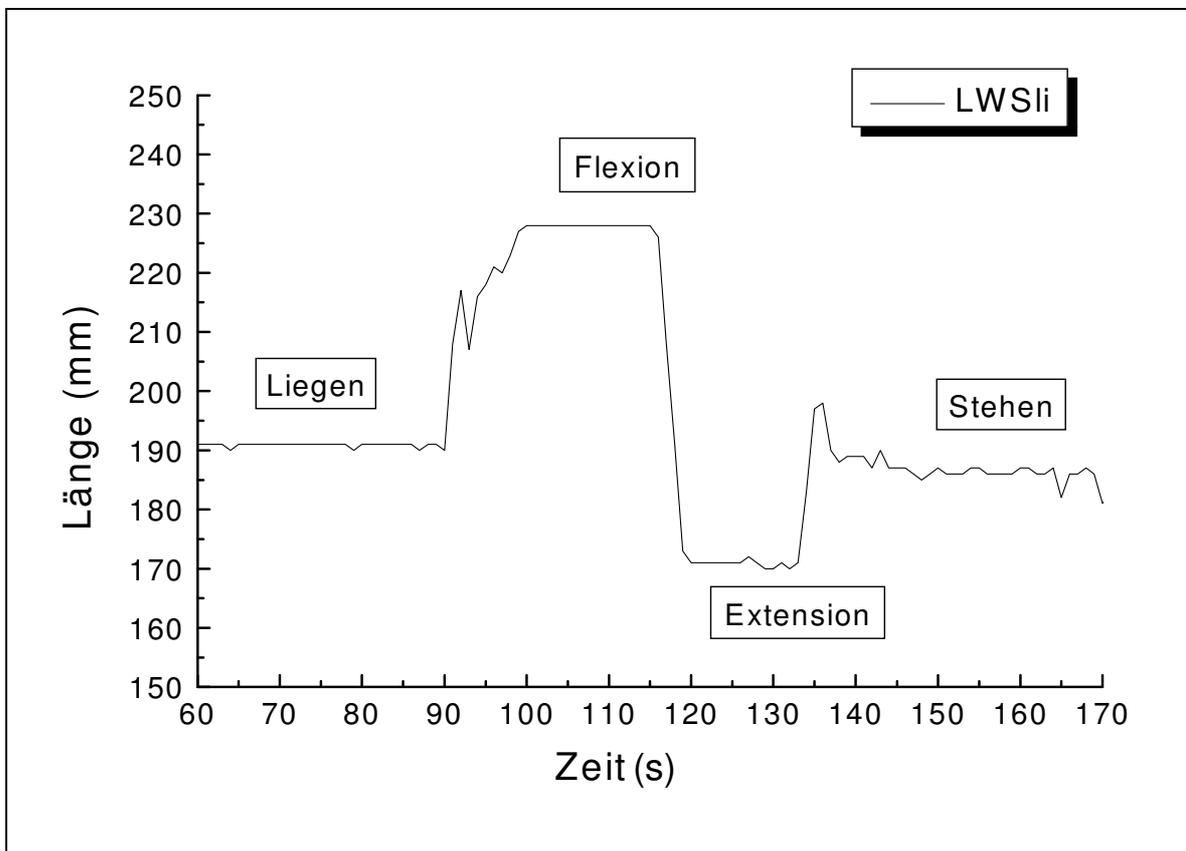


Abb. 3: Die Streckenänderung gemessen mittels Ultraschall, dargestellt am Beispiel der LWS links bei der Durchführung der Standardpositionen (Proband an einem Messzeitpunkt während der Vorbereitungsphase).

- Die genutzte thorakale und lumbale Bewegungsamplitude wurde segmental als die Streckenlänge erfasst, in der 90% der gesamten Wirbelsäulensegmentlängen lagen.

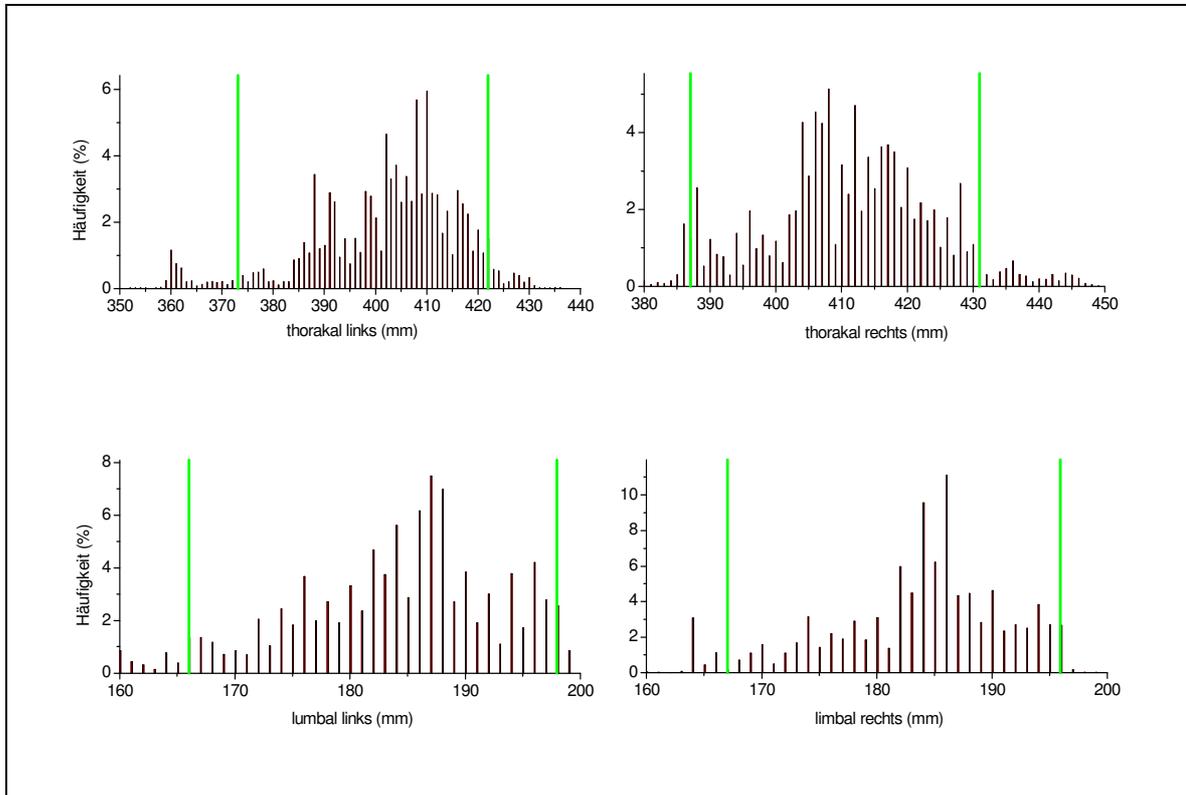


Abb. 4: Prozentuale Häufigkeitsverteilung der thorakalen und lumbalen Bewegungsamplituden rechts und links der Wirbelsäule am Beispiel eines Probanden während der Liegephase. Oben: Histogramme für die Brustwirbelsäule, unten: Histogramme für die Lendenwirbelsäule.

- Die Gesamtlänge der Wirbelsäule, gemittelt über 24 Stunden.
- Die Summe der Wirbelsäulenlängenänderungen in m über 24 Stunden.  
Zur Definition einer Längenänderung liegt ein Schwellenwert von mindestens einem mm/s zugrunde.

## 5. Das nächtliche Bewegungsverhalten.

Für die Untersuchung des nächtlichen Bewegungsverhaltens wurden fünf Stunden aus der Nachtphase selektiert. Ausgewählt aus dem Nachtruhebereich (23.00-06.30 Uhr) wurde das zusammenhängende Fünfstunden-Intervall, in dem die geringste Bewegung sichtbar wurde. Um atmungsbedingte Bewegungen im Wirbelsäulenbereich auszuschließen, wurden in die Auswertung nur die Bewegungsamplituden einbezogen, die mehr als 5 % der maximalen Bewegungsamplituden ausmachten. Alle anderen wurden entsprechend als bewegungsfreie Zeit gewertet.

## 2.7.2 Elektromyographie

### 2.7.2.1 Instrumentierung

Die Erfassung der elektromyographischen Aktivität der Rückenstreckmuskulatur erfolgte durch den Einsatz eines miniaturisierten und portablen EMG-Gerätes der Firma Biovision.

Das thorakale und lumbale Segment der wirbelsäulennahen Muskulatur wurde auch hier getrennt voneinander mit bipolarer Ableittechnik registriert.

Die Applikation der vierpaarigen Sensoren und der neutralen Elektrode erfolgte mittels der Fixierung von EKG-Elektroden der Firma Dahlhausen auf der Hautoberfläche. Die Haut der Probanden wurde vorher rasiert und mit Alkohol gereinigt, die Sensoren wurden mit medizinischem Klebevlies auf den Elektroden befestigt. Ab dem 48. Liegetag der ersten Untersuchungsperiode verzichtete man auf den Einsatz von Alkohol nach der Enthaarung, da dies bei den Probanden zu Hautirritationen führte. Die vier Sensoren für die elektromyographische Aktivität im lumbalen Teil der Wirbelsäule wurden nach Instrumentierung der miniaturisierten Ultraschallsender und -empfänger mittels der Schablone so platziert, dass sie genau parallel rechts und links zur Wirbelsäule auf dem palperten Musculus Erector spinae (Lage L2-L4) zwischen Ultraschallsender- und Empfänger lagen. Die vier Sensoren für den thorakalen Bereich wurden 2 cm über den für den lumbalen Bereich fixierten Ultraschallsendern auch parallel rechts und links auf dem Musculus Erector spinae (Lage Th9-11) befestigt. Die neutrale Elektrode wurde auf der Hautoberfläche im Bereich des knöchernen Anteils des linken Schulterblattes der Probanden fixiert.

Zwischen allen Sensoren, sowohl im thorakalen als auch im lumbalen Bereich, wurde ein Abstand von 1 cm gehalten.

Die Instrumentierung der EMG-Elektroden war somit individuell reproduzierbar (Gesamtinstrumentierung siehe Abbildung 6).

Die einzelnen Sensoren wurden mit einem Druckknopfmechanismus auf den Elektroden befestigt.

#### 2.7.2.2 EMG-System, Signalaufnahme und -weiterverarbeitung

Entsprechend der Anzahl der Ableitungsorte erfolgte die Aufnahme der von den Oberflächenelektroden abgeleiteten Potentiale auf vier Kanälen. Die Aufnahmedauer betrug  $23 \pm 1$  Stunden, die Aufnahmefrequenz 100 Hz. Jeder einzelne Sensor war durch ein Kabel mit der Signal-Aufnahmebox verbunden und befand sich in unmittelbarer Nähe zu einem miniaturisierten Verstärker (5000fache Verstärkung). Die Signal-Aufnahmebox (Abmessungen: 10 cm \* 5,3 cm \* 2,9 cm, Gewicht: 60 g) war über ein 15 cm langes Kabel mit dem zentralen Datenaufzeichnungsgerät "Varioport" verbunden, das eine PCMCIA Speicherkarte von 64 MB beinhaltete und von 4 Lithium-Ionen Batterien (Typ AA) betrieben wurde. Die Abmessungen des Varioports betragen 11,9 cm \* 6,5 cm \* 2,3 cm (Gewicht inkl. Batterien: 190 g). Die Signale der Sensoren wurden direkt zum Analog/Digital-Wandler des Datenrekorders übertragen, von dem sie auch ihre Versorgungsspannung erhielten. Die Probanden trugen die Signal-Aufnahmebox und die Zentraleinheit Varioport ebenfalls in den Fronttaschen des für die Studie entworfenen T-Shirts. Während der Bettliegephase wurde die gesamte EMG-Einheit in Plastikboxen verstaut, so dass die Einheit aufgrund ihrer langen Kabel auch neben das Bett oder hinter das Kopfkissen gelegt werden konnte. Damit konnte sichergestellt werden, dass weder der Schlafkomfort noch das Bewegungsverhalten nennenswert beeinflusst wurde. Zusätzlich wurde so verhindert, dass das Gerät vor evtl. mechanischen Belastungen durch den Körper des Probanden beansprucht oder beeinflusst wurde.

Die EMG-Signale konnten zur Überprüfung der einzelnen Kanäle zu Beginn des Experiments online auf einem Notebook visualisiert werden.

Die auf der Flashcard über  $23 \pm 1$  Stunden gespeicherten EMG-Rohdaten wurden mit Hilfe der Software DASyLabTM in den PC eingelesen und unmittelbar weiterverarbeitet. Neben der visuellen Kontrolle der Qualität der Rohdaten wurde der Roh-EMG-Verlauf mit einem Tiefpass von 45 Hz, 4. Ordnung und einem Hochpass von 5 Hz, 2. Ordnung gefiltert. In einem weiteren Schritt wurde der Roh-EMG-Verlauf durch Betragsbildung negativer Signalanteile mathematisch gleichgerichtet und die daraus resultierende Hüllkurve integriert und auf die Dauer von einer Sekunde bezogen (iEMG mit der Einheit mVs). Hiernit erreichte man die Synchronisierung der Elektromyographie mit der Ultraschalldiagnostik aufgrund zeitlich gleicher

Auflösung. Dementsprechend wurden die beiden Geräte nach der Instrumentierung auch zeitgleich gestartet.

Ein Beispiel eines derart weiterverarbeiteten EMGs zeigt die folgende Abbildung.

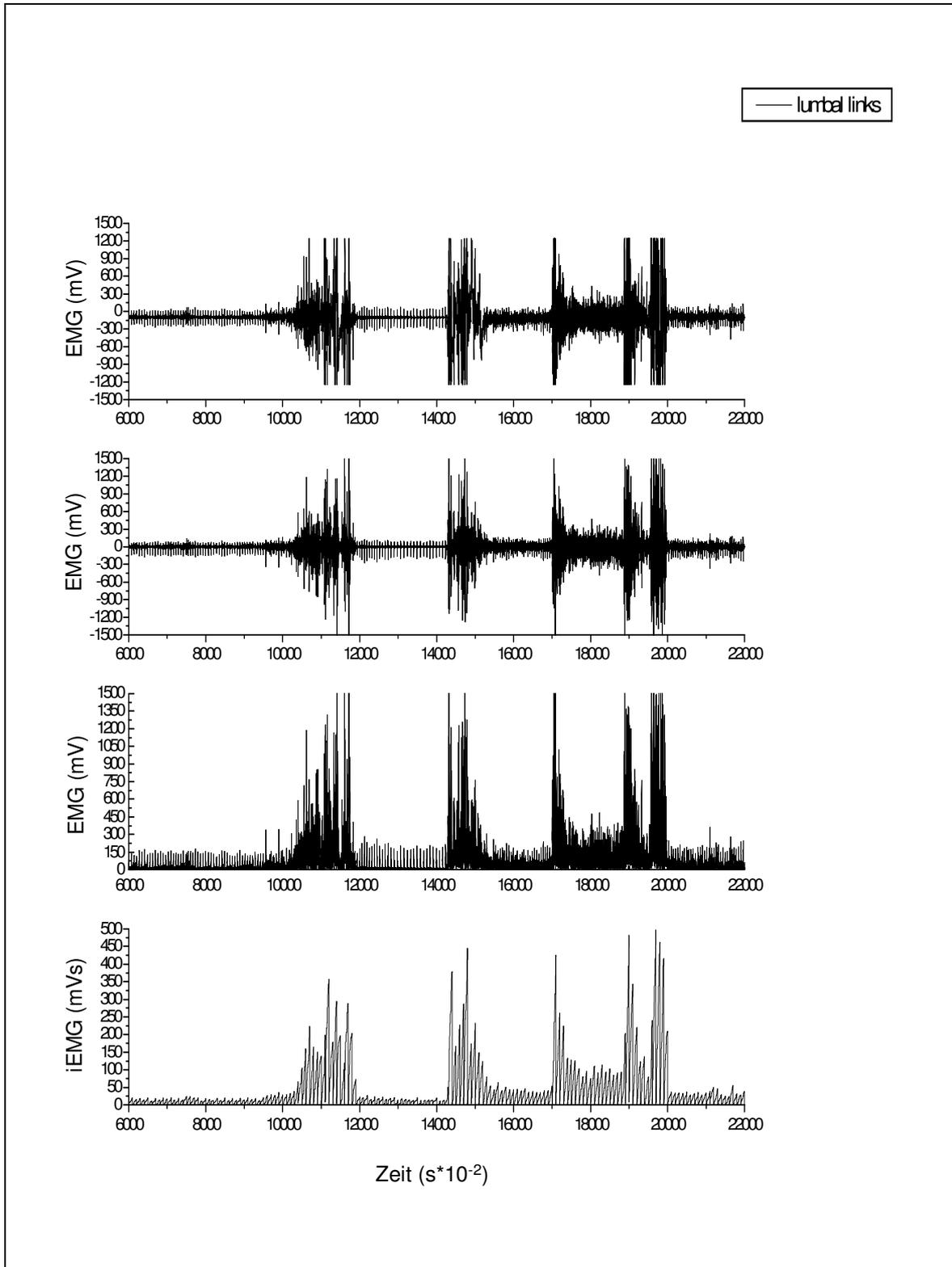


Abb. 5: Verarbeitung des elektromyographischen Signals. Von oben nach unten: EMG-Rohsignal, gefiltertes EMG, gleichgerichtetes EMG und integriertes EMG.

### 2.7.2.3 Elektromyographische Aktivität

Ziel war die Erfassung der elektromyographischen Aktivität ohne Willkürkontraktionen.

Zu diesem Zweck wurde über  $23 \pm 1$  h die elektromyographische Aktivität der wirbelsäulennahen Muskulatur auf vier Kanälen gemessen. Nach einer visuellen Kontrolle der Gesamtaufzeichnung wurde daraus ein zusammenhängendes fünfständiges Aufzeichnungsintervall der Nachtphase (23.00-6.30 Uhr) selektiert. Daraus resultierte eine Aufzeichnung unter überwiegend ruhenden Bedingungen mit dem Vorteil, willkürliche muskuläre Aktivität auszuschließen. Ein weiterer Vorteil bestand darin, auf diese Weise Einflüsse technischer Art zu minimieren. In Einzelfällen traten diese tagsüber auf und waren auf medizintechnische Geräte oder elektrische Transformatoren zurückzuführen.

In nachfolgender Abbildung ist die gesamte Instrumentierung von EMG-Elektroden sowie Ultraschallsendern und -empfängern dargestellt:



Abb. 6: Graphische Darstellung der Gesamtinstrumentierung mit Fokus auf die EMG-Diagnostik mit bipolarer Ableittechnik (N 0 = neutrale Elektrode; Th 1 und Th 2 = BWS-Bereich links; Th 3 und Th 4 = BWS-Bereich rechts; L 1 und L 2 = LWS-Bereich links; L 3 und L 4 = LWS-Bereich rechts).

### 2.7.3 Schmerzfragebogen

Neben der Untersuchung der physiologischen Parameter wurden die Teilnehmer schriftlich zu ihrem subjektiven Schmerzempfinden im Rückenbereich befragt. Der eingesetzte Schmerzfragebogen sollte Intensität sowie Lokalisation und Art von Rückenschmerzen erheben.

Während der Vorbereitungsphasen wurde in beiden Kampagnen an drei Mess-tagen die Schmerzsymptomatik erfragt.

Während der Bettliegephasen wurde das Protokoll täglich eingesetzt. In der Erholungsphase wurden die Schmerzen an den Tagen zwei und drei sowie neun und zehn der ersten Untersuchungsperiode registriert. In der zweiten Kampagne wurden die Schmerzfragebögen durchgehend bis zum zehnten Tag der Erholungsphase ausgegeben und ausgefüllt.

Die Beantwortung der Fragebögen erfolgte immer vormittags oder in der Mittagszeit. Die Befragung richtete sich jeweils auf das Intervall der letzten 24 Stunden.

Die Intensitätsskala war sechsstufig untergliedert und reichte von „0“ (= kein Schmerz) bis „5“ (= extrem starke Schmerzen).

In Übereinstimmung mit dem Studienprotokoll war bei der Einschätzung des Schmerzes, bis zur Intensität „4“ (inklusive), die Verabreichung von Medikamenten zur Reduktion des Schmerzes untersagt.

Zur Lokalisierung des Schmerzes war auf dem Fragebogen die Körperrückseite von der Halsregion bis in beide Kniekehlen abgebildet und in kleine Planquadrate eingeteilt. Dies ermöglichte dem Probanden eine genaue Lokalisierung.

Die Art und Qualität des empfundenen Schmerzes konnte mit Einstufungen, wie z. B. „dumpf“, „scharf“, „prickelnd“, „stechend“ oder „taub“ beschrieben werden. Ein Muster des Fragebogens findet sich im Anhang.

## 2.8 Statistik

In der Ergebnisdarstellung wurden die Daten mit Ausnahme der Rückenschmerzintensitäten und der EMG-Darstellung auf einen mit 100 % gesetzten Wert aus der Vorbereitungsphase bezogen. Hierbei wurde vorher ausgeschlossen, dass bei den Mittelwertberechnungen der Messdaten aller drei Zeitpunkte aus der Vorbereitungsphase signifikante Differenzen vorlagen. Mit der gewählten Vorgehensweise wurde eine Datenreduktion sowie eine bessere Vergleichbarkeit erreicht, da:

- unterschiedliche Körpergrößen- bzw. Rückenlängen nicht in den Vergleich miteinbezogen wurden,
- mögliche Differenzen zwischen den Messzeitpunkten eindeutiger einem Zeit- bzw. Bettliegeeinfluss zugeordnet werden und
- mögliche Differenzen zwischen den Gruppen eindeutiger einem Gruppen- bzw. Treatmenteinfluss zugeschrieben werden konnten.

Für den statistischen Nachweis der Untersuchungseinflüsse wurden die Messwerte einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung unterzogen (der erste Faktor, 10fach gestuft: die einzelnen Messzeitpunkte und der zweite Faktor, 3fach gestuft: die einzelnen Gruppen bzw. der Treatmenteinfluss). Beim Auftreten eines signifikanten Faktoreinflusses wurde ein post-hoc Test LSD (Least-Significant Difference) durchgeführt.

Mittelwertvergleiche zwischen zwei Gruppen der Probanden mit bzw. ohne Rückenschmerzsymptomatik wurden mit dem T-Test für unabhängige Gruppen durchgeführt.

Vergleiche von Daten, die das Ausgangsniveau von z. B. Wirbelsäulenlänge und Bewegungsamplitude der drei Gruppen in der Vorbereitungsphase beschreiben, erfolgten mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse.

Zur Untersuchung von Zusammenhängen zwischen einzelnen Variablen wurde der Spearman-Rangkorrelationskoeffizient ( $r_s$ ) berechnet.

Die Darstellung der Daten der Elektromyographie (iEMG in vier Ableitungsbereichen) erfolgte ausschließlich an denjenigen Untersuchungstagen, an denen die stärkste Schmerzsymptomatik aufgetreten ist (am 1. und 5. Tag der Liegephase sowie am 2. Tag in der Erholungsphase).

Alle Messwerte, falls nicht anders angegeben, sind - mit Ausnahme der Rückenschmerzintensität - als arithmetischer Mittelwert berechnet worden und innerhalb der Graphiken mit dem Standardfehler ( $\bar{x} \pm SE$ ) und im Text sowie in Tabellen mit der Standardabweichung ( $\bar{x} \pm SD$ ) als Streuungsmaß versehen.

Bei allen Prüfverfahren wurde eine statistische Signifikanz bei einer empirischen Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p < 0,05$  angenommen.

Vor Beginn der statistischen Bearbeitung wurden die Daten der Elektromyographie mit den Ergebnissen der Ultraschalldiagnostik synchronisiert, indem die Rohdaten auf eine Sekunde integriert wurden. Dies erfolgte mit dem Programm DASYLab. Weitere Berechnungen und Verarbeitungen der Rohdaten erfolgten mit Excel 2000 und Origin 6.1.

Die statistischen Verfahren wurden mit SPSS 10.0 und STATISTICA Version 5 durchgeführt. Die graphische Darstellung erfolgte mit den Programmen Origin 6.1 und Plot-IT 1.6.

## 3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der beiden Untersuchungszeiträume werden im Folgenden gemeinsam dargestellt, da hinsichtlich des Studiendesigns, der Durchführung und des Probandenguts als auch aufgrund der beobachteten Befunde keine signifikanten und qualitativen Unterschiede bestanden. Zudem gab es auch keine weiteren relevanten Gründe, die eine gemeinsame Darstellung der Ergebnisse beider Untersuchungszeiträume nicht zulassen würden.

### 3.1 Rückenschmerzen

Mit Ausnahme eines einzigen Probanden traten bei allen Teilnehmern während der Studie Rückenschmerzen auf.

Lokalisation und Qualität der Schmerzen wurden größtenteils uniform beschrieben: In mehr als  $\frac{3}{4}$  aller Fälle war der Lendenwirbelsäulenbereich daran beteiligt (76,5 %). Bei 57 % der Fälle betraf der Schmerz ausschließlich den unteren Rückenbereich, deutlich rechts und links versetzt der Wirbelsäule. Somit war der LWS-Bereich im Vergleich zum BWS-Bereich viermal so häufig betroffen. Beschrieben wurde der Schmerz meist als dumpf. Über eine radikuläre Symptomatik klagte lediglich ein Proband, und zwar direkt im Anschluss nach dem Training an der Beinpresse.

Bedeutsam für das Auftreten der Rückenschmerzen waren jeweils die Übergänge zwischen Vorbereitungs- zu Liegephase und von Liege- zu Erholungsphase. Zur besseren Übersicht wurden die Streuungsmaße in folgender Abbildung weggelassen.

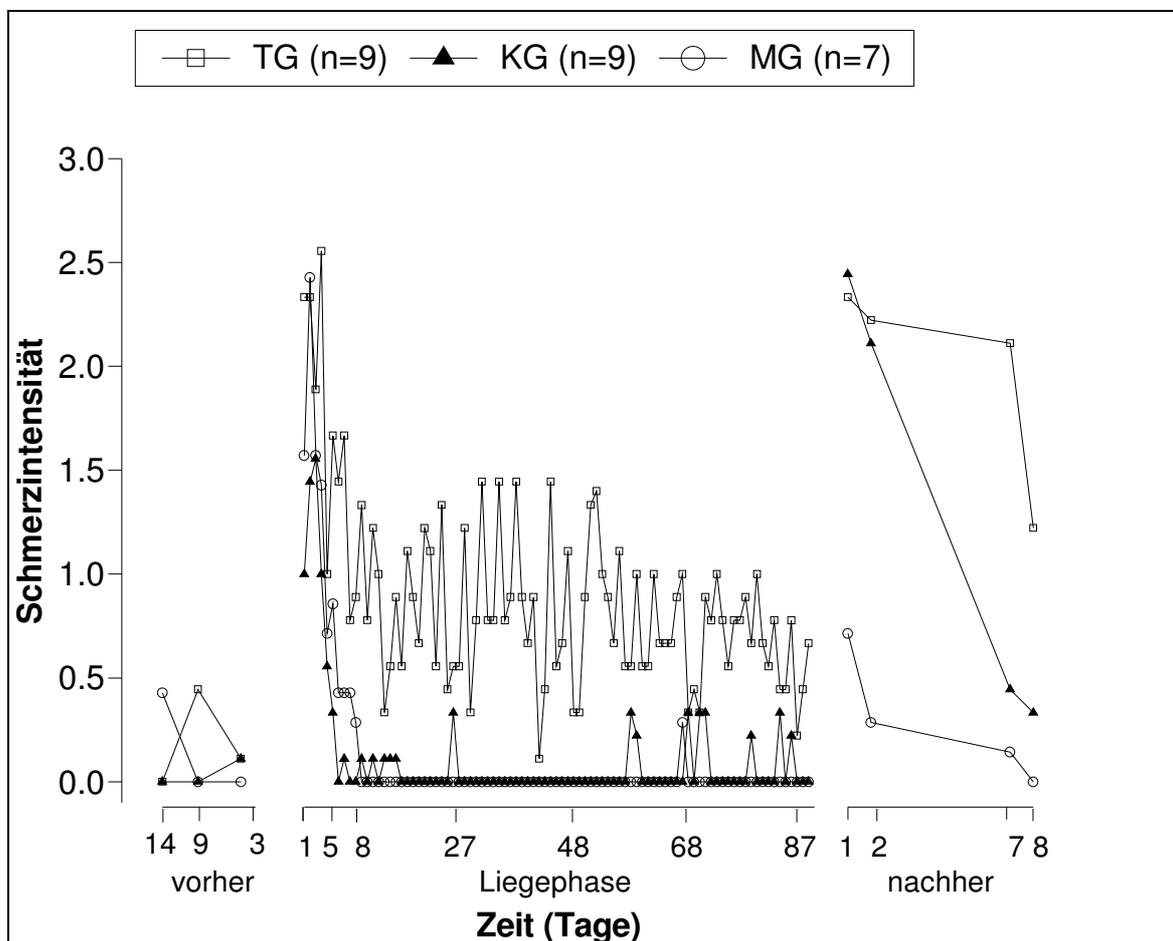


Abb. 7: Rückenschmerz-Intensität vor, während und nach der Liegephase für alle 3 Gruppen (TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).

Während der drei untersuchten Tage der Vorbereitungsphase waren es vier Probanden, die an jeweils einem einzigen Tag Schmerzen mit geringer Intensität angaben. Dagegen klagten 22 von 25 Probanden innerhalb der ersten fünf Tage während der Liegephase über Rückenschmerzen. Die größten Schmerzen traten an den ersten beiden Tagen der Liegephase auf. In der Mobilisations- und Kontrollgruppe klangen diese innerhalb der ersten sieben Tage wieder ab. Auffallend dagegen war der immer wiederkehrende Schmerz innerhalb der Trainingsgruppe, mit jeweiligen Schmerzmaxima nach jeweils drei Tagen. Hierzu befragt, gaben die Probanden vor allem nach dem Training an der Beinpresse die häufigsten Schmerzen mit den höchsten Intensitäten an.

Darüber hinaus berichteten nahezu alle Teilnehmer von Schmerzen im lumbalen Bereich der Wirbelsäule während und kurz nach der Einnahme der Mahlzeiten. Im Gegensatz zur überwiegenden Position (Rückenlage oder Seitposition) wurden die Mahlzeiten innerhalb der ersten Tage der Liegephase in Bauchlage eingenommen bis es den Probanden nach Absprache mit dem leitenden Arzt freigestellt wurde, ihre Mahlzeiten in Rückenlage oder seitlicher Position zu sich zu nehmen. Die Schmerzen, die in Verbindung mit der Nahrungsaufnahme einhergingen, waren von kurzer Dauer und traten nach der Freistellung der Position nicht mehr auf.

Detaillierten Aufschluss über das Auftreten der Schmerzen zu den einzelnen Zeitpunkten der Liege- und Erholungsphase gibt die nachfolgende Tabelle.

Tag	1-5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	1,2*	8,9*
Gruppe												
TG (n=9)	8	3	7	5	5	5	7	6	6	8	7	7
KG (n=9)	8	0	3	1	0	0	1	2	1	2	8	2
MG (n=7)	6	1	0	0	0	0	0	1	0	1	3	1

\*nach der Liegephase

Tabelle 2: Anzahl der Probanden mit Rückenschmerzen an mindestens einem Tag des angegebenen Zeitraums während der Liege- und Erholungsphase (TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).

Die obige Tabelle belegt, dass die Mitglieder der Trainingsgruppe - über den Zeitraum der Liege- und Erholungsphase betrachtet - am häufigsten Schmerzen hatten.

Die Mobilisations- und die Kontrollgruppe waren nach dem siebtem Liegetag nahezu schmerzfrei.

Der auf die ersten sieben Tage der Liegephase bezogene statistische Vergleich zeigt eine signifikant erhöhte Schmerzintensität der Trainings- gegenüber der Kontrollgruppe ( $p < 0,05$ ).

Nach der Liegephase traten direkt am ersten Tag der Erholungsphase wieder Schmerzen in allen drei Gruppen auf. Die höchsten Intensitäten wurden an den ersten zwei Tagen angegeben, wobei die Mobilisationsgruppe am wenigsten betroffen war.

Der statistische Vergleich aus der Erholungsphase bezogen auf die vier Tage an denen nachgefragt wurde, zeigt eine geringere Schmerzintensität der

Mobilisationsgruppe gegenüber den Probanden der anderen beiden Gruppen. Dabei waren die ersten beiden Messzeitpunkte signifikant niedriger ( $p < 0,05$ ).

### 3.2 Wirbelsäulenlänge

Die durchschnittliche Wirbelsäulenlänge aller Probanden, erfasst von C7 bis L5/S1, betrug vor Beginn der Bettliegephase  $55,1 \pm 3,0$  cm ( $\bar{x} \pm SD$ ; TG:  $55,9 \pm 3,0$  cm; KG:  $55,1 \pm 2,5$  cm und MG:  $53,9 \pm 3,5$  cm). Die Längenunterschiede zwischen den einzelnen Gruppen waren nicht signifikant.

Während der gesamten Liegephase kam es zu einer mittleren Gesamtlängenzunahme der Wirbelsäule von 2–4 % für alle Gruppen ( $\bar{x} \pm SD$ ; TG:  $1,4 \pm 0,7$  cm; KG:  $1,9 \pm 0,4$  cm; MG:  $1,1 \pm 0,3$  cm). Gegenüber dem Ausgangsniveau waren die Wirbelsäulenlängen an allen Messzeitpunkten der Bettliegephase signifikant größer ( $p < 0,05$ ).

Es bestanden aber weder während noch nach der Bettliegephase signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen.

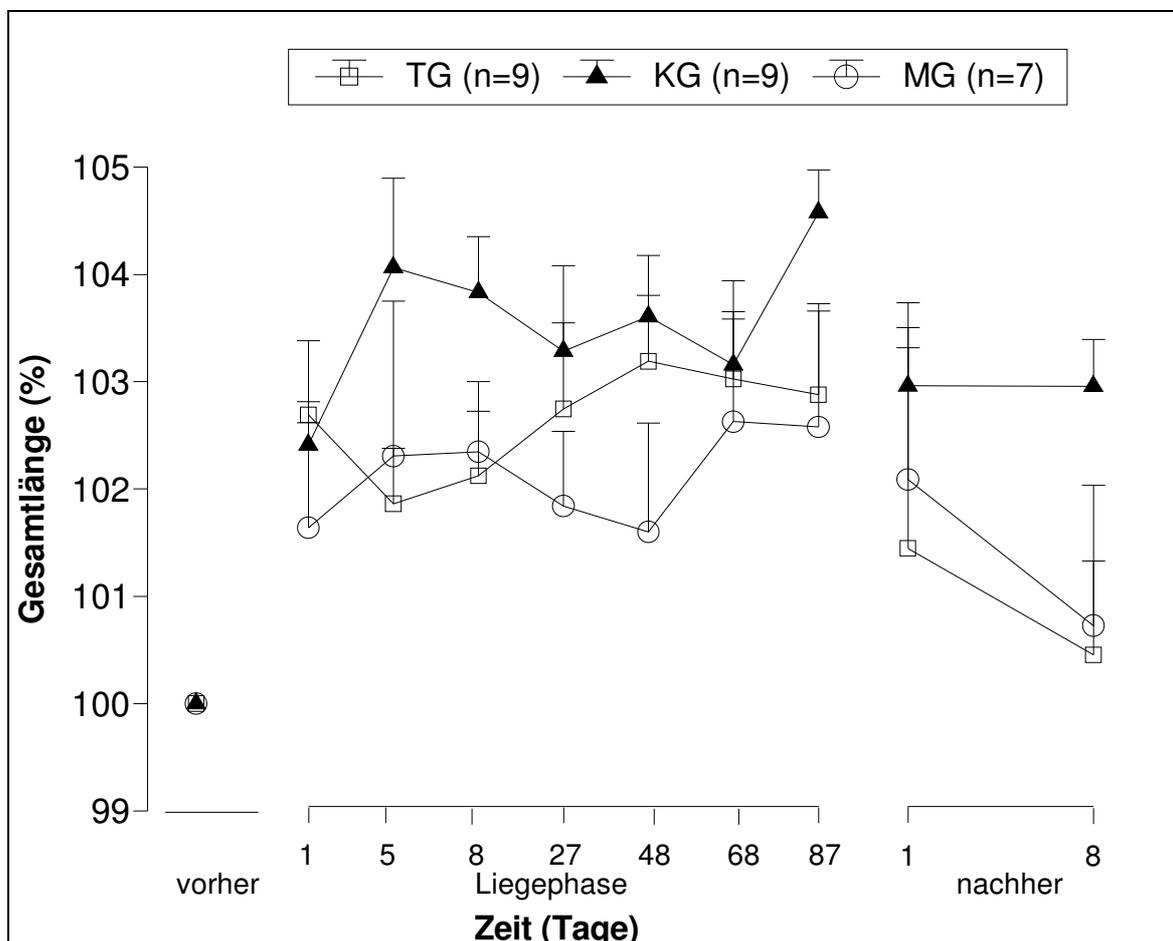


Abb. 8: Gesamtlänge der Wirbelsäulensegmente betrachtet von C7-L5/S1, ausgedrückt in Prozent der Ausgangswerte vor der Bettliegephase (TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).

Am ersten Tag der Liegephase ließ sich gegenüber der Vorbereitungsphase eine durchschnittliche Gesamtlängenzunahme der Wirbelsäule von  $1,2 \pm 1,0$  cm ( $\bar{x} \pm SD$ ) und für die Trainingsgruppe eine Zunahme der Gesamtlänge um  $1,5 \pm 1,1$  cm;  $1,3 \pm 0,6$  cm für die Kontroll- und  $0,8 \pm 1,3$  cm für die Mobilisationsgruppe feststellen.

Am fünften Liegetag wurde eine durchschnittliche Längenzunahme der Wirbelsäule gegenüber der Vorbereitungsphase von  $1,5 \pm 1,5$  cm erfasst ( $\bar{x} \pm SD$ ; TG:  $0,9 \pm 0,8$  cm; KG:  $2,2 \pm 1,4$  cm und MG:  $1,2 \pm 2,0$  cm).

Die Kontrollgruppe zeigte (mit Ausnahme vom ersten Bettliegetag) zu jedem Messzeitpunkt die größte mittlere Gesamtlänge der Wirbelsäule gemessen an der Vorbereitungsphase.

Nach der Liegephase erreichten die Probanden der Mobilisations- und der Trainingsgruppe zum Ende der Erholungsphase nahezu ihre Ausgangswerte aus der Vorbereitungsphase. Die Kontrollgruppe dagegen behielt in den ersten acht Tagen das erhöhte Niveau bei.

Die segmentale Betrachtung der Wirbelsäule (siehe die folgenden beiden Abbildungen) zeigt ansatzweise ein gegensätzliches Muster der Längenänderungen.

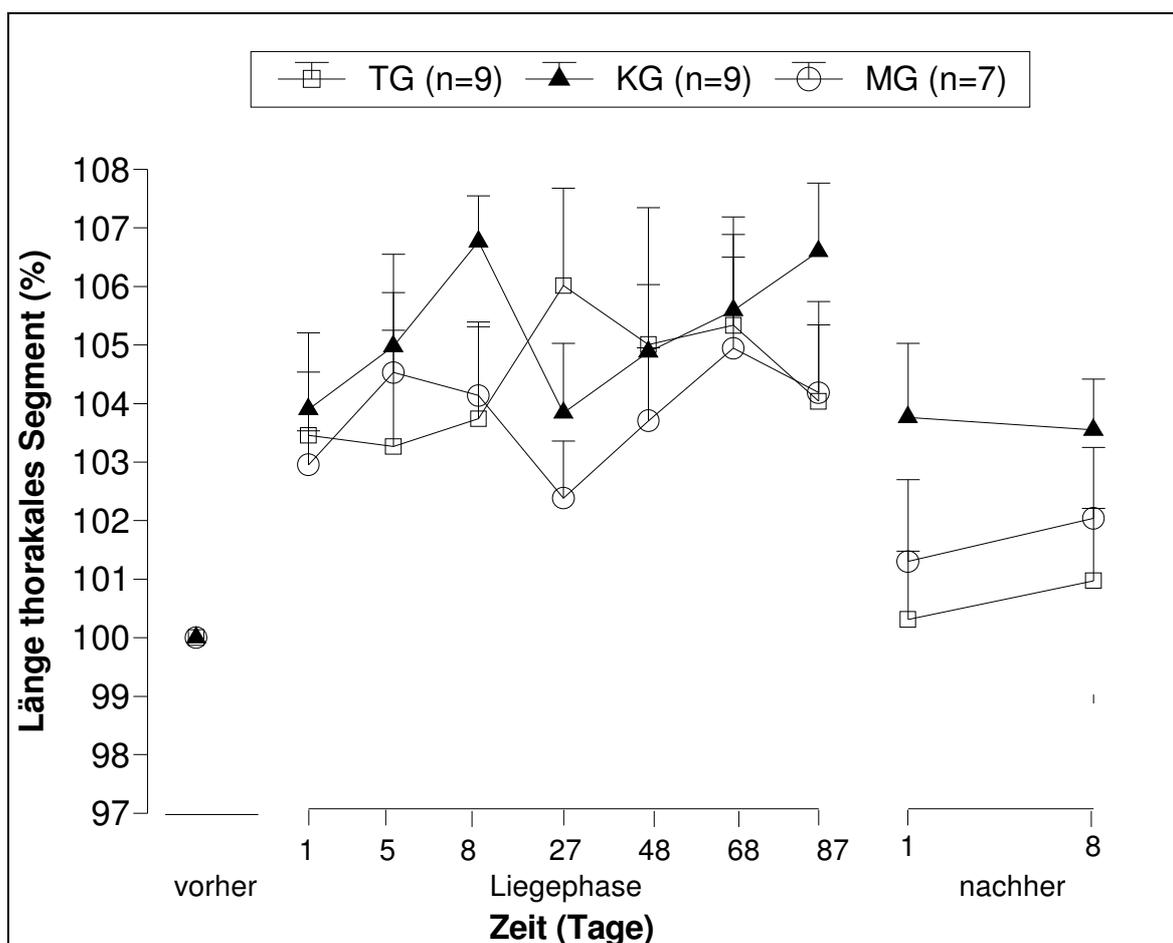


Abb. 9: Länge des thorakalen Wirbelsäulensegmentes (von C7 bis Th12/L5) in der Mobilisations-, Trainings- und Kontroll-Gruppe (MG, TG und KG) während der Bettliege- und Wiederherstellungsphase prozentual bezogen auf die Vorbereitungsphase ( $\bar{x} \pm SE$ ).

Während im thorakalen Bereich signifikante Längenzunahmen während der Bettliegephase erfolgten, reduzierte sich die Länge im lumbalen Bereich tendenziell. Signifikante Gruppenunterschiede bestanden jedoch nicht. Die Kontrollgruppe zeigte, bezogen auf die Zeitpunkte der Liegephase, zumeist die größte

thorakale Längenzunahme und die geringste Abnahme im Lendenwirbelsäulenbereich.

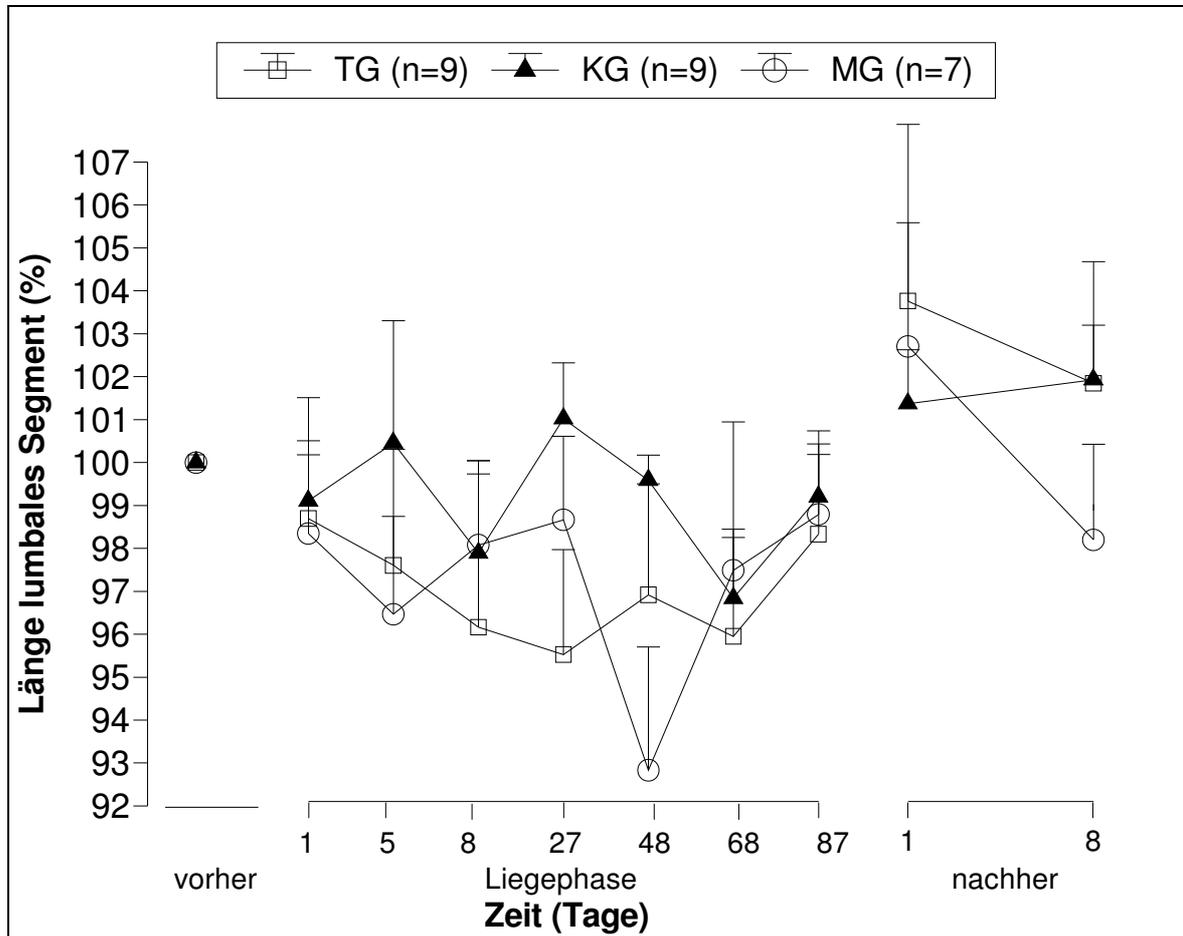


Abb. 10: Länge des lumbalen Wirbelsäulensegmentes (Th12/L1 bis L5/S1) in der Mobilisations-, Trainings- und Kontroll-Gruppe (MG, TG und KG) während der Bettliege- und Erholungsphase prozentual bezogen auf die Vorbereitungsphase ( $\bar{x} \pm SE$ ).

### 3.3 Bewegungsamplitude

Die 24h-Bewegungsamplituden des thorakal erfassten Bereichs waren gegenüber den Amplituden aus Vorbereitungs- und Erholungsphase während der Liegephase im Mittel für alle Gruppen signifikant erhöht ( $p < 0,05$ ).

In der Vorbereitungsphase waren die Amplituden für alle Gruppen durchschnittlich nahezu identisch. Die Bewegungsamplitude für alle drei Gruppen betrug  $4,4 \pm 0,5$  cm ( $\bar{x} \pm \text{SD}$ ; TG:  $4,5 \pm 0,6$  cm; KG:  $4,3 \pm 0,9$  cm und MG:  $4,2 \pm 0,6$  cm).

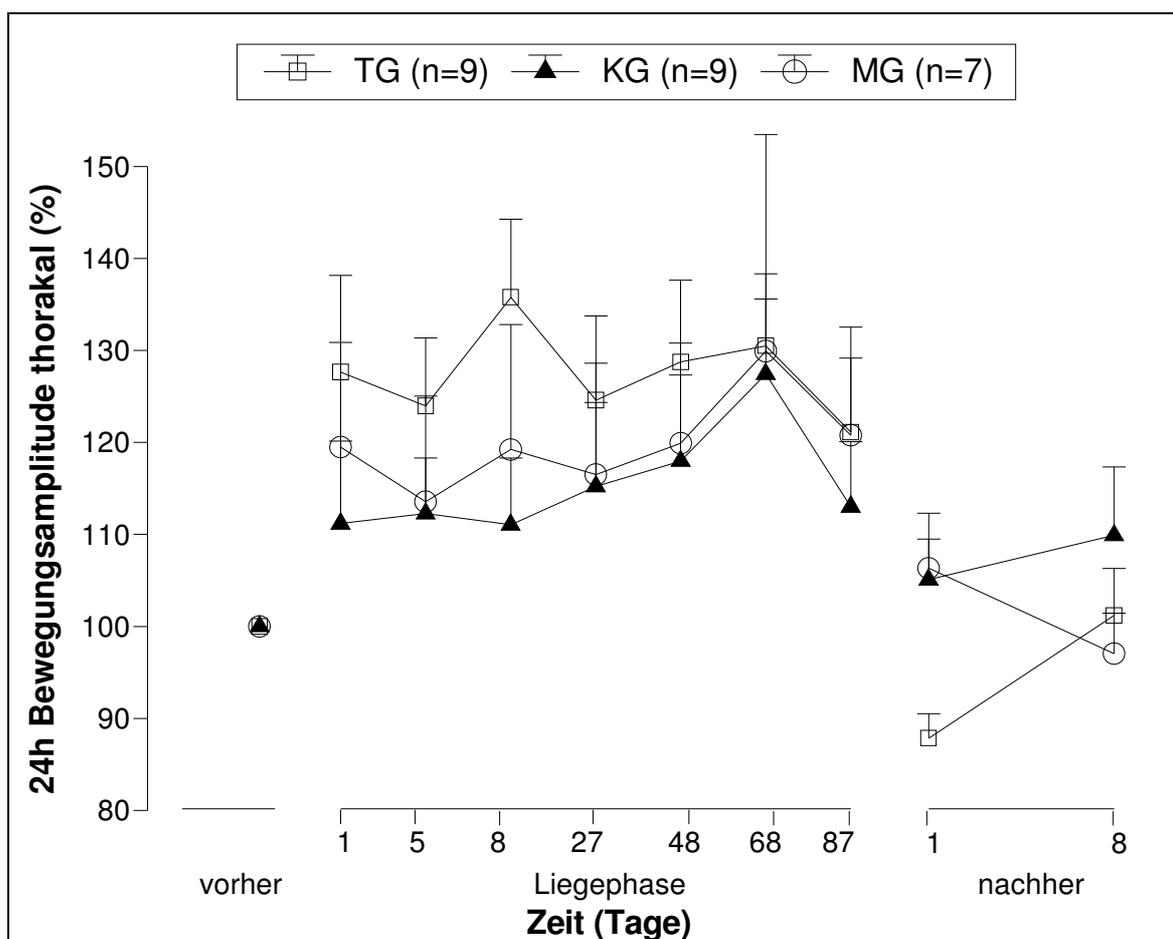


Abb. 11: Bewegungsamplitude des thorakalen Abschnitts gemessen über 24 Stunden, ausgedrückt in Prozent des Ausgangsniveaus vor der Liegephase (TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).

Die Bewegungsamplituden über alle Messzeitpunkte während der Liegephase steigerten sich durchschnittlich um  $21,0 \pm 24,6$  % ( $\bar{x} \pm \text{SD}$ ; TG:  $27,4 \pm 19,9$  %; KG:  $15,4 \pm 22,3$  % und MG:  $19,9 \pm 33,6$  %). Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen traten nicht auf.

Die gemittelten Bewegungsamplituden aller Probanden der Trainingsgruppe waren an jedem Messzeitpunkt während der Liegephase größer als die Amplituden der beiden anderen Gruppen.

Am ersten Messzeitpunkt nach der Liegephase näherten sich die Bewegungsamplituden wieder den Ausgangswerten an.

Annähernd spiegelbildlich zur thorakalen Bewegungsamplitude entwickelte sich das Bewegungsverhalten im lumbalen Bereich während der Liegephase.

Im Gegensatz zur Bewegungsamplitude im thorakal erfassten Bereich waren die Werte der Amplituden im lumbalen Abschnitt während der Liegephase im Vergleich zur Vorbereitungsphase signifikant geringer ( $p < 0,05$ ).

Die Amplitude betrug in der Vorbereitungsphase im Mittel  $3,9 \pm 0,6$  cm für alle 3 Gruppen ( $\bar{x} \pm SD$ ; TG:  $4,2 \pm 0,6$  cm; KG:  $3,8 \pm 0,3$  cm und MG:  $3,6 \pm 0,9$  cm).

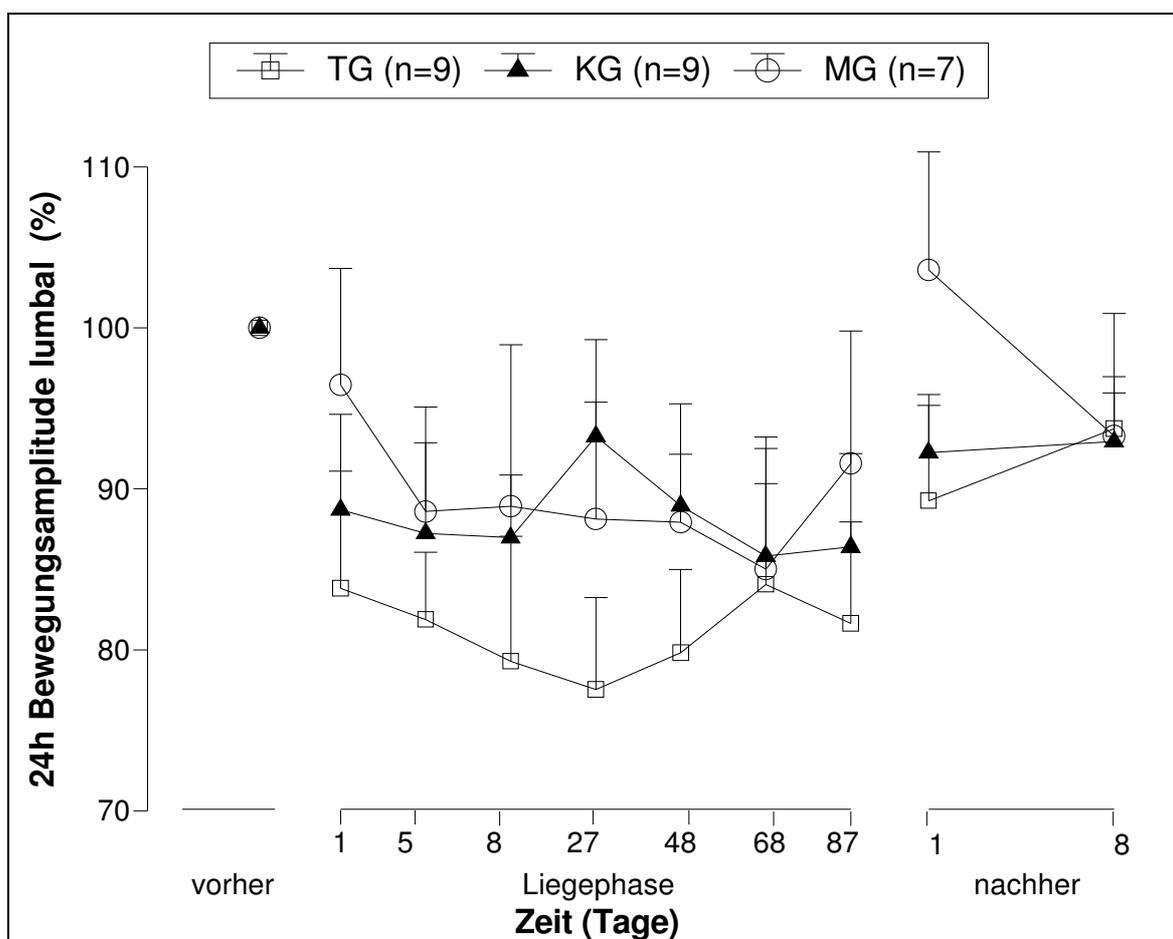


Abb. 12: Bewegungsamplitude des lumbalen Abschnitts, gemessen über 24 Stunden, ausgedrückt in Prozent zum Ausgangswert vor der Bettliegephase (TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).

Die Bewegungsamplituden im lumbalen Bereich reduzierten sich durchschnittlich während der Liegephase um  $15,2 \pm 15,2$  % ( $\bar{x} \pm SD$ ; TG:  $19,2 \pm 15,8$  %; KG:  $10,5 \pm 16,1$  % und MG:  $16,0 \pm 14,4$  %). Es traten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen auf.

Die Probanden der Trainingsgruppe hatten zu jedem Messzeitpunkt der Liegephase im Mittel kleinere Amplituden als die Probanden der anderen beiden Gruppen.

In der Erholungsphase lagen die Amplituden über den Werten der Liegephase, blieben aber mit Ausnahme der Mobilisationsgruppe am ersten Messzeitpunkt nach den 90 Liegetagen knapp unterhalb der Amplituden zu Beginn der Studie.

### 3.4 Beweglichkeit

Alle Gruppen zeigten nach den 90 Liegetagen im Mittel eine signifikante Verbesserung ( $p < 0,05$ ) der Beweglichkeit im erfassten Bereich der Brustwirbelsäule.

Der mit Hilfe der Standardpositionen ermittelte mittlere Flexibilitätsindex für den thorakalen Abschnitt der Wirbelsäule ergab für alle Gruppen in der Vorbereitungsphase  $21,4 \pm 3,2$  ( $\bar{x} \pm SD$ ; TG:  $22,5 \pm 3,8$ ; KG:  $21,2 \pm 3,2$  und MG:  $20,4 \pm 2,2$ ). Es zeigten sich jedoch keine signifikanten Unterschiede innerhalb der Gruppen.

Die größte Verbesserung nach 90 Liegetagen zeigte sich bei der Mobilisationsgruppe, die während der Liegephase das gezielte Rückenbewegungsprogramm durchführte. Dieser Flexibilitätszuwachs war am ersten Tag der Erholungsphase signifikant gegenüber der Trainings- und Kontrollgruppe ( $p < 0,05$ ).

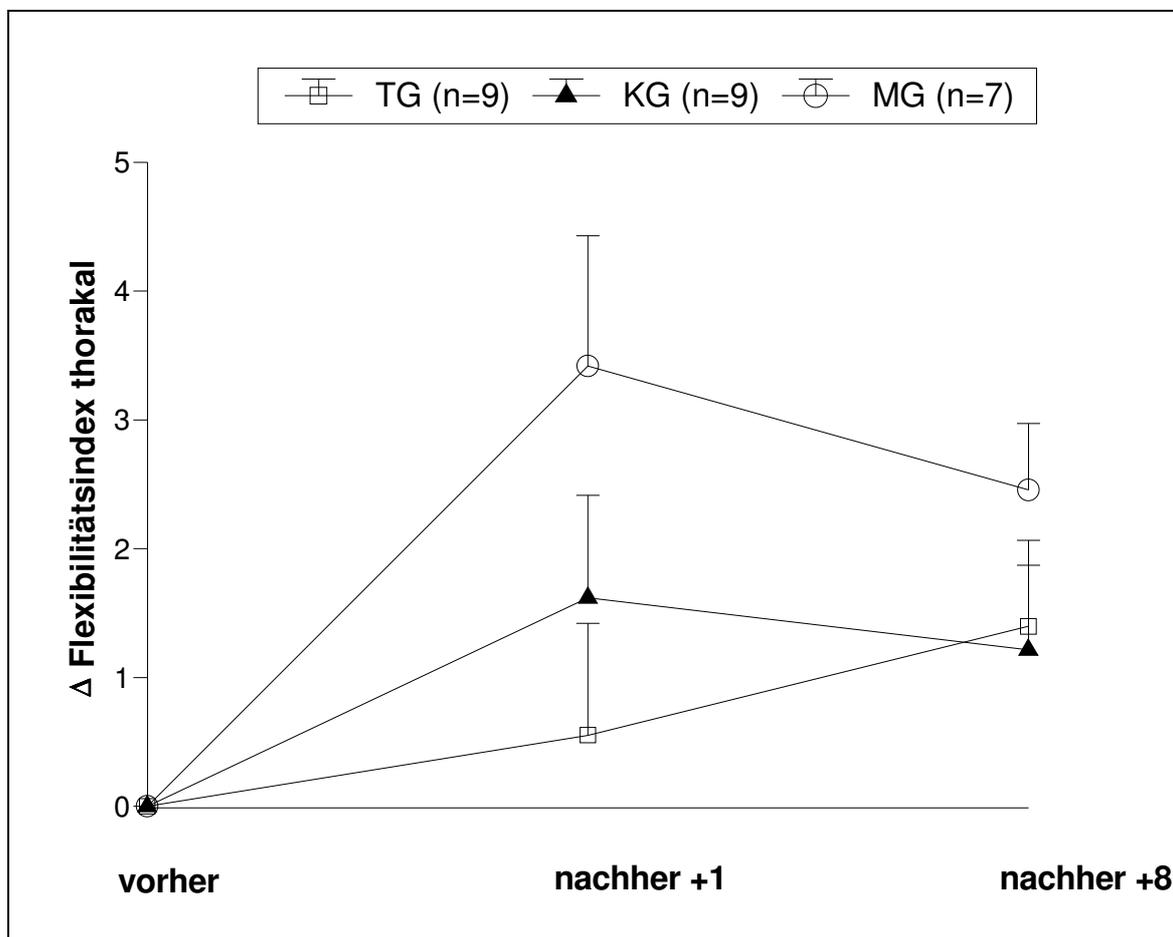


Abb. 13: Unterschiede des Flexibilitätsindex im thorakalen Wirbelsäulensegment nach 90 Liegetagen (TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).

Im lumbalen Abschnitt der Wirbelsäule stellte sich eine relative Verbesserung der Beweglichkeit unter dem Einfluss des Rückenbewegungsprogrammes dar (siehe Abb. 14). Nach den 90 Liegetagen lag der Flexibilitätsindex der Mobilisationsgruppe über dem der beiden anderen Gruppen, die signifikante Abnahmen gegenüber dem Ausgangsniveau aufwiesen ( $p < 0,05$ ). Am ersten Messzeitpunkt der Erholungsphase wurde von der Mobilisationsgruppe das Flexibilitätsniveau der Vorbereitungsphase erreicht.

In der Vorbereitungsphase hatten alle Gruppen im Mittel einen (lumbalen) Flexibilitätsindex von  $20,6 \pm 5,0$  ( $\bar{x} \pm SD$ ; TG:  $21,9 \pm 3,0$ ; KG:  $20,0 \pm 4,8$  und MG:  $19,8 \pm 7,2$ ). Die Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen waren nicht signifikant.

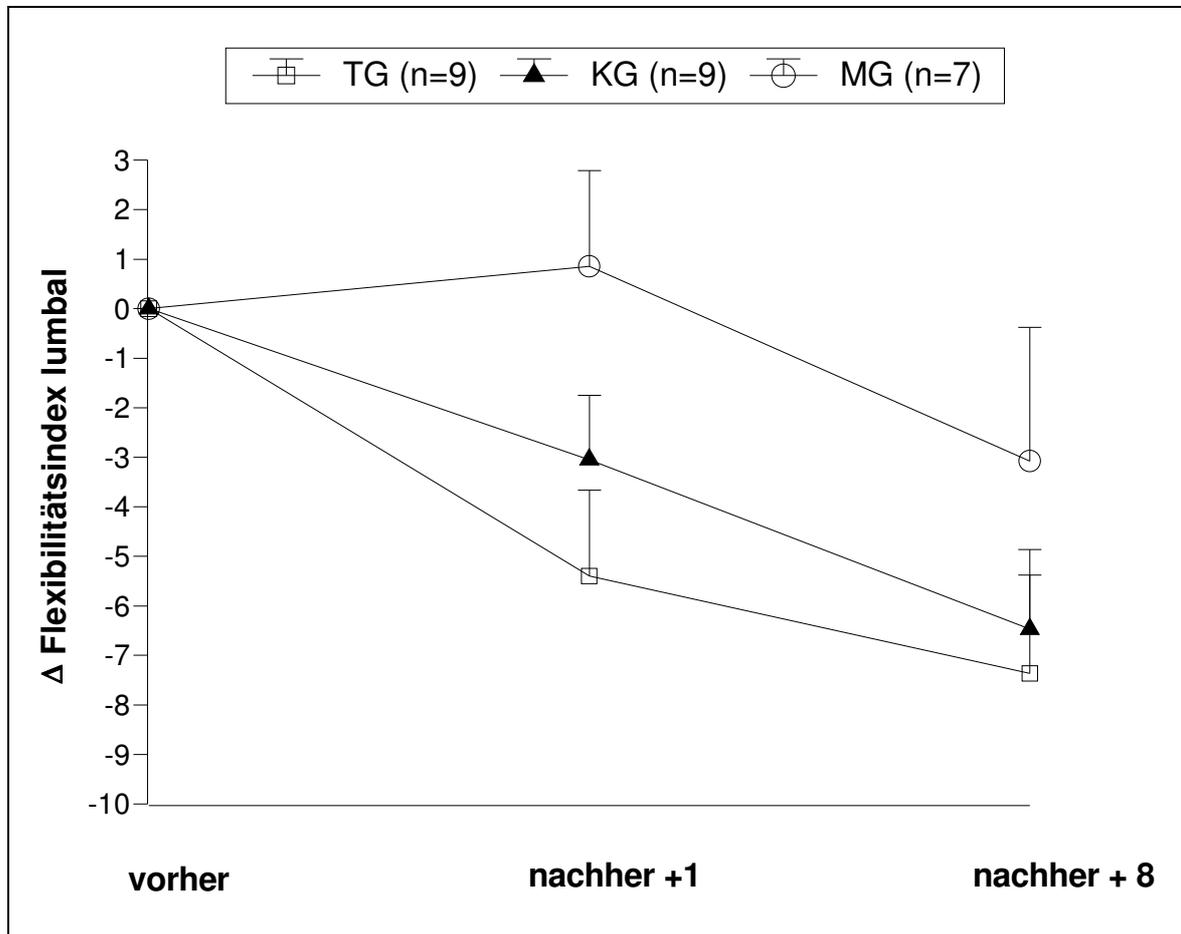


Abb. 14: Unterschiede im Flexibilitätsindex für das lumbale Wirbelsäulensegment am 1. und 8. Tag nach der Liegephase (TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).

### 3.5 Gesamtbewegung

Die Gesamtbewegung als aufsummierte Streckenänderung über die Aufzeichnungsdauer von 24 Stunden betrug für alle drei Gruppen im Mittel in der Vorbereitungsphase  $129,6 \pm 17,2$  m ( $\bar{x} \pm SD$ ). Zwischen den einzelnen Gruppen (TG:  $138,2 \pm 17,2$  m; KG:  $129,6 \pm 17,2$  m und MG:  $112,3 \pm 17,2$  m) gab es keine signifikanten Unterschiede.

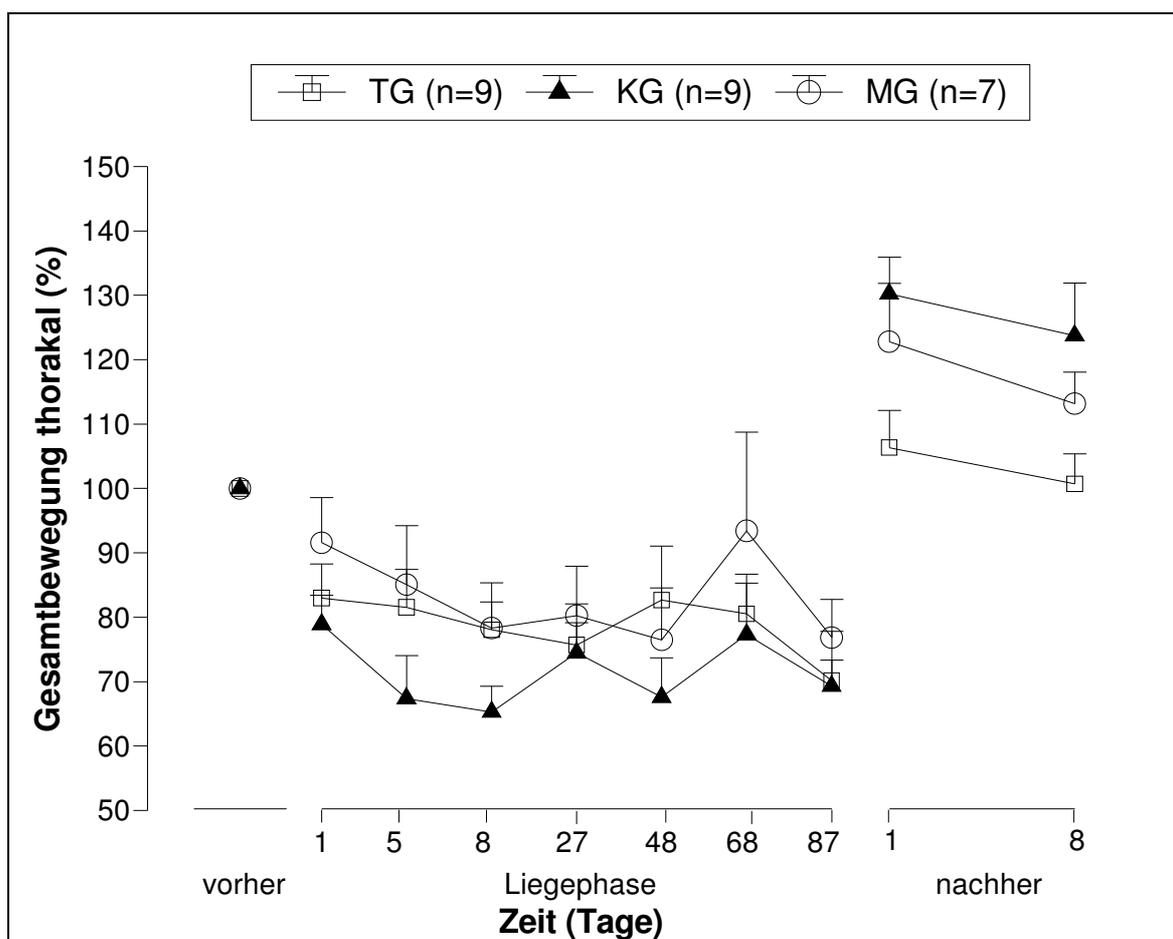


Abb. 15: Die aufsummierte Bewegung im thorakalen Bereich über 24 h bezogen auf die Ausgangswerte vor der Liegephase (TG=Trainingsgruppe, KG =Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).

Während der Liegephase kam es in allen drei Gruppen zu einer signifikanten Reduktion ( $p < 0,05$ ) der summierten Streckenänderungen im thorakal erfassten Abschnitt gegenüber den Streckenänderungen aus der Vorbereitungsphase.

Die Reduktion für alle drei Gruppen betrug im Mittel  $22,6 \pm 19,4$  % ( $\bar{x} \pm SD$ ; TG:  $21,2 \pm 18,8$  %; KG:  $28,5 \pm 16,3$  % und MG:  $16,8 \pm 22,7$  %).

Zu jedem Messzeitpunkt aus der Liegephase wiesen die Probanden der Kontrollgruppe hierbei die größte Reduktion auf.

In der Erholungsphase zeigten sie die größte Zunahme. Darüber hinaus kam es nach den 90 Liegetagen in allen drei Gruppen zu einer signifikanten Erhöhung der aufsummierten Strecken ( $p < 0,05$ ). Jedoch konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen festgestellt werden.

Die Bewegung im lumbalen Wirbelsäulensegment betrug für alle drei Gruppen in der Vorbereitungsphase der Studie im Mittel  $103,6 \pm 17,2$  m ( $\bar{x} \pm SD$ , TG:  $112,3 \pm 8,6$  m; KG:  $103,6 \pm 17,2$  m und MG:  $86,4 \pm 17,2$  m). Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen festgestellt werden.

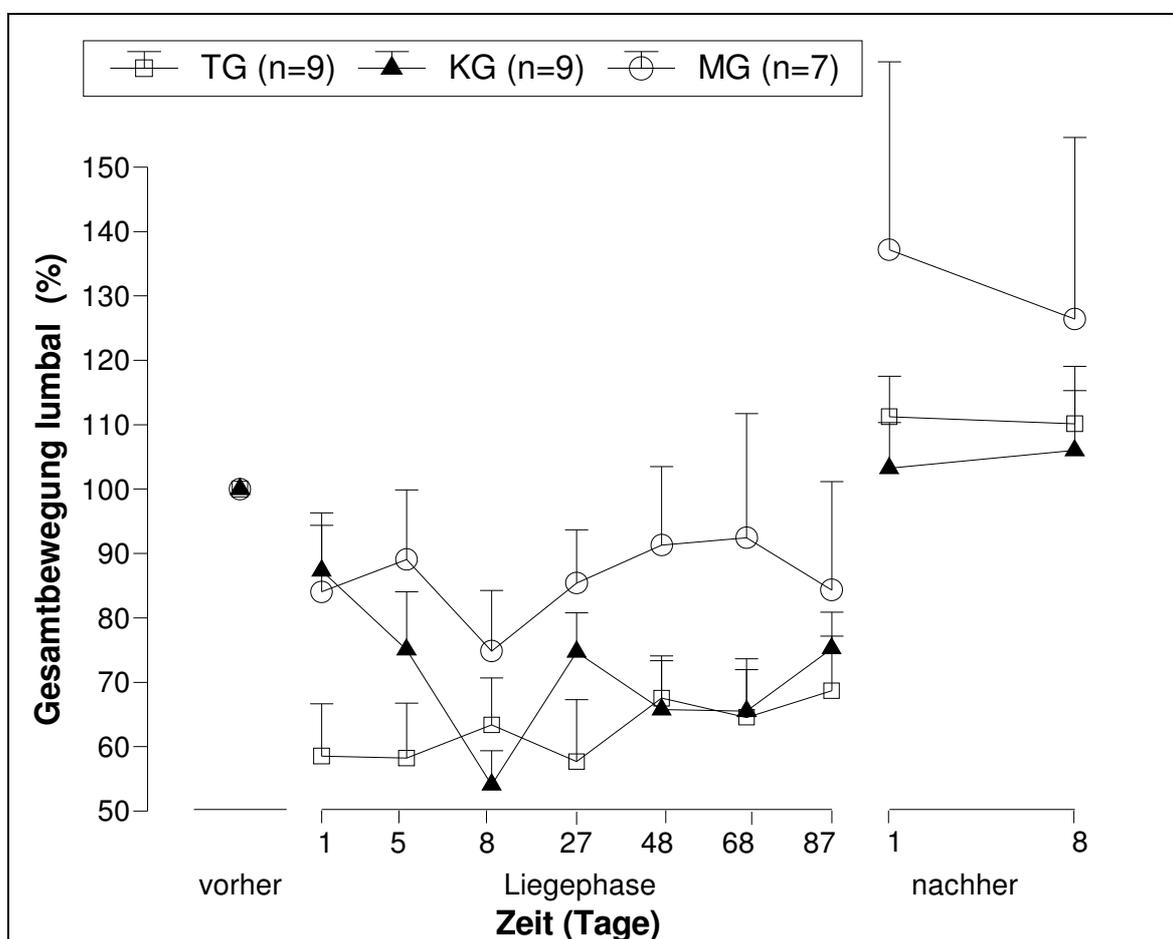


Abb. 16: Die aufsummierte Bewegung im lumbalen Wirbelsäulensegment über 24 h bezogen auf die Ausgangswerte vor der Liegephase (TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).

Während der Liegephase kam es in allen drei Gruppen zu einer signifikanten Reduktion ( $p < 0,05$ ) der aufsummierten Streckenänderungen im lumbal erfassten Abschnitt gegenüber dem Ausgangsniveau aus der Vorbereitungsphase.

Die Reduktion betrug im Mittel für alle drei Gruppen  $27,8 \pm 27,6$  % ( $\bar{x} \pm SD$ ; TG:  $37,3 \pm 24,0$  %; KG:  $28,9 \pm 20,9$  % und MG:  $14,0 \pm 33,6$  %).

Mit Ausnahme vom 8. und 48. Liegetag wiesen dabei die Probanden der Trainingsgruppe zu jedem Messzeitpunkt der Liegephase die größte Reduktion des Bewegungsverhaltens auf.

In der Erholungsphase (nach 90 Liegetagen) waren es die Probanden der Mobilisationsgruppe, welche die größte Steigerung der aufsummierten Bewegungen zeigten und auch über die erste Woche nahezu beibehielten. Die Kontroll- und Trainingsgruppe näherten sich dagegen den Werten aus der Vorbereitungsphase an. Zwischen den einzelnen Gruppen gab es keine signifikanten Unterschiede.

### 3.6 Nächtliches Bewegungsverhalten

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die Dauer der bewegungsfreien nächtlichen Intervalle aus den Schlafphasen an den einzelnen Messzeitpunkten ( $\bar{x} \pm SD$ ) für alle drei Gruppen. Signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen wurden nicht festgestellt.

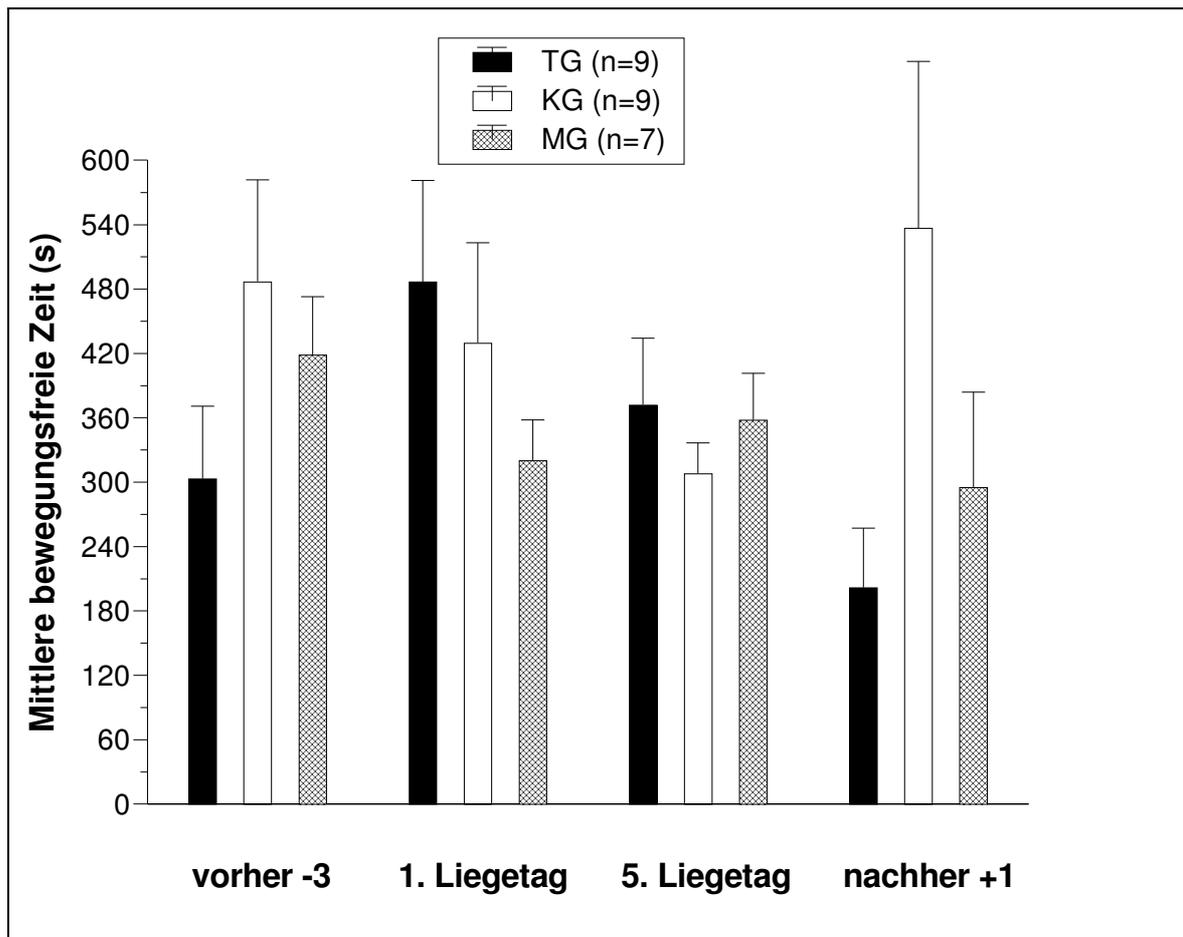


Abb. 17: Die mittlere bewegungsfreie Zeit für alle Gruppen (TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe und MG=Mobilisationsgruppe) am 13. Tag der Vorbereitungsphase, am 1. und 5. Liegetag sowie am 2. Tag der Erholungsphase.

Die Betrachtung des Bewegungsverhaltens bei den Probanden mit Schmerz gegenüber denen ohne Schmerz macht deutlich, dass an den drei gewählten Messzeitpunkten der stärksten Schmerzsymptomatik geringfügig längere bewegungsfreie Intervalle bei den Probanden ohne Schmerz gegenüber denen mit Schmerzen auftraten (siehe folgende Abbildung). Die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant.

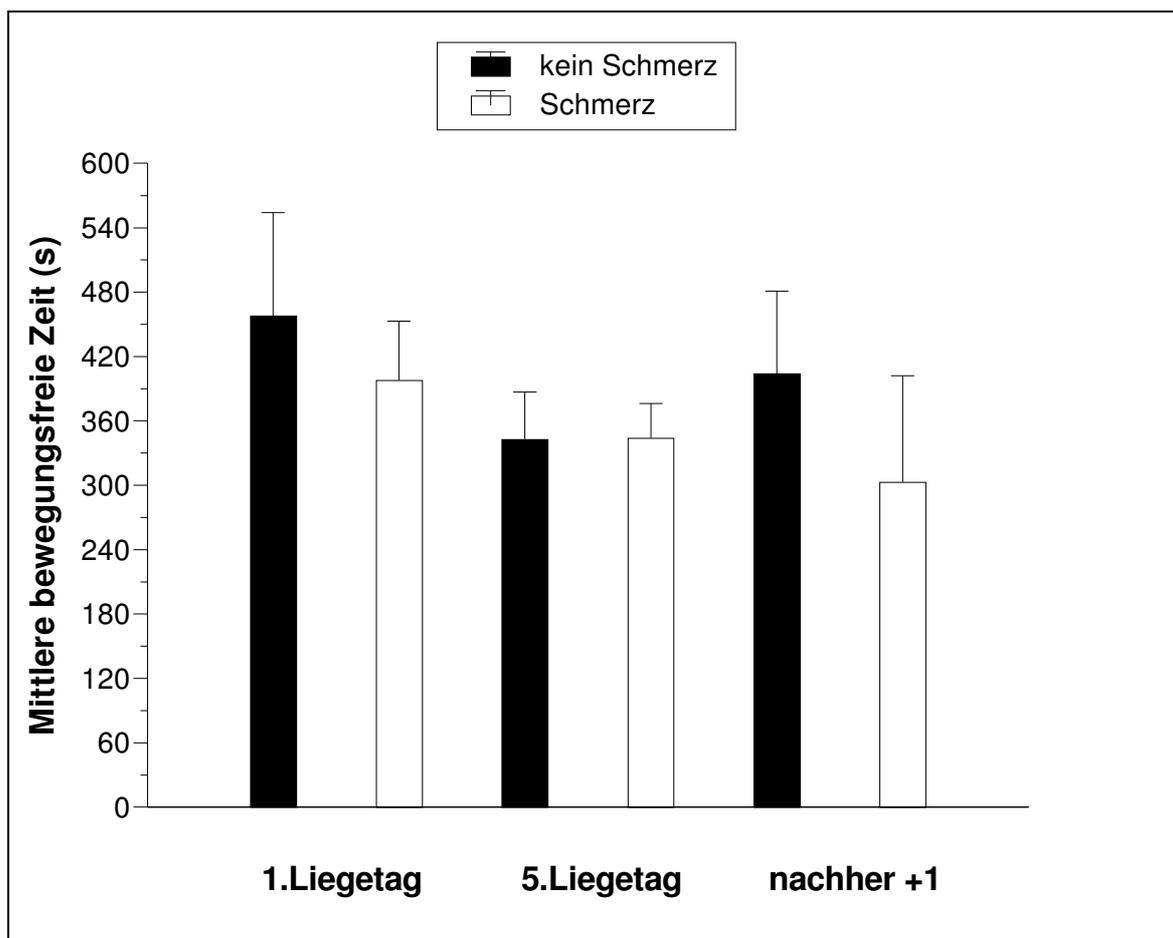


Abb. 18: Mittlere bewegungsfreie Zeit (s) bei kein Schmerz/Schmerz am 1. Liegetag (n=9 kein Schmerz, n=16 Schmerz), 5. Liegetag (n=10 kein Schmerz, n=14 Schmerz) und am 2. Erholungstag (n=9 kein Schmerz, n=14 Schmerz).

### 3.7 EMG-Aktivität während der Nachtphase

Im Folgenden wird die EMG-Aktivität der wirbelsäulennahen Rückenmuskulatur aller Gruppen für den ersten und fünften Liegetag sowie den zweiten Erholungstag dargestellt. Für die EMG-Aktivität des Musculus Erector spinae ergab sich eine signifikante Erhöhung der Aktivität im rechten und linken Bereich der Brustwirbelsäule ( $p < 0,05$ ) sowie dem rechten lumbalen Bereich in der Erholungsphase

( $p < 0,05$ ). Diese Werte beziehen sich auf die Ausgangssituation vor der Liegephase und auf die Situation am ersten und fünften Liegetag. Ein weiterer signifikanter Unterschied zeigte sich für den linken Bereich der Brustwirbelsäule zwischen dem fünften Liegetag und der Vorbereitungsphase ( $p < 0,05$ ).

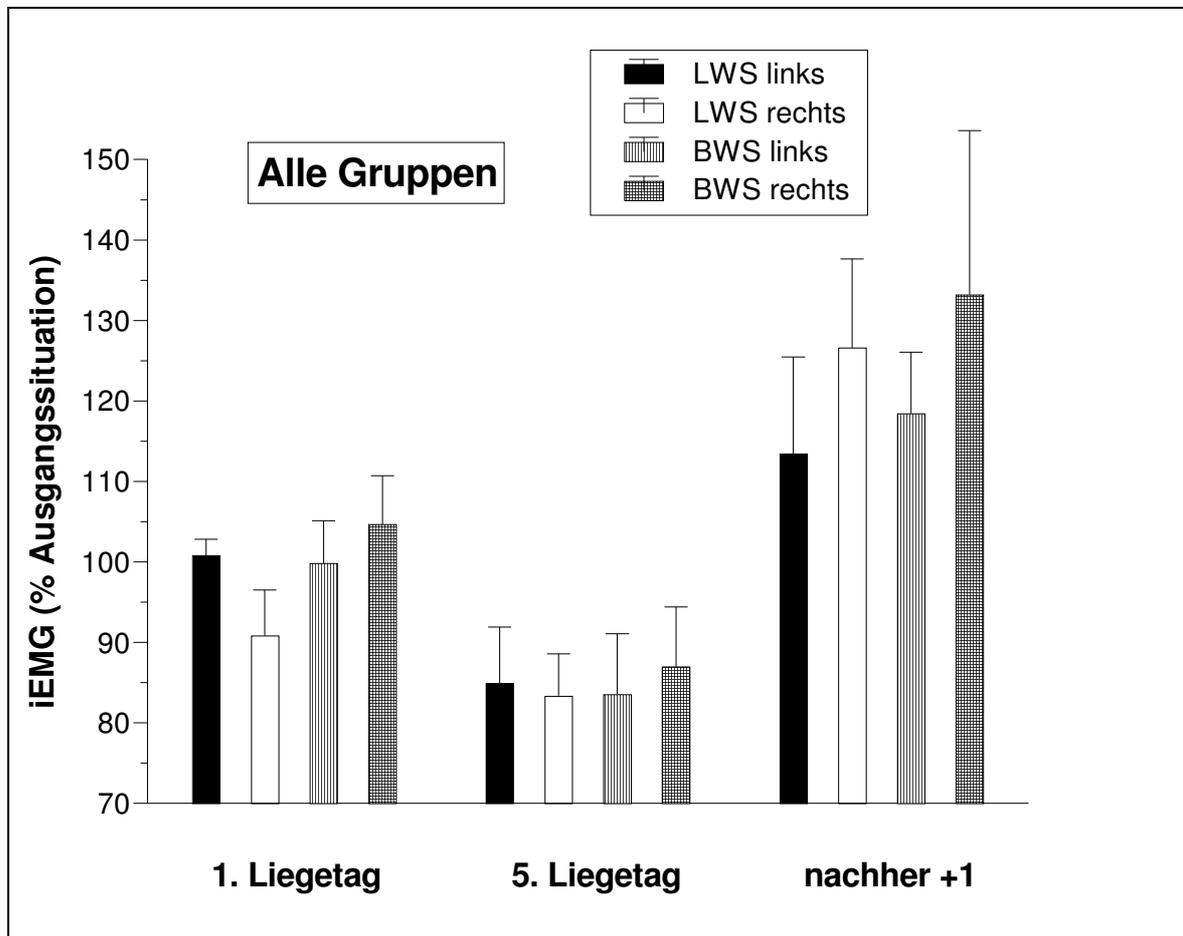


Abb. 19: EMG-Aktivität der wirbelsäulennahen Muskulatur im BWS- und LWS-Bereich am 1., 5. Liegetag und dem 2. Tag der Erholungsphase (TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).

Aufgegliedert nach den einzelnen Gruppen (TG, KG und MG) konnten weder signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen, noch zwischen den einzelnen Messzeitpunkten festgestellt werden.

### 3.8 EMG-Aktivität und Schmerz

Nach einer Gruppierung der Probanden nach den Kriterien "Schmerz" und "kein Schmerz" zeigten sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der elektromyographischen Aktivität der wirbelsäulennahen Rückenmuskulatur.

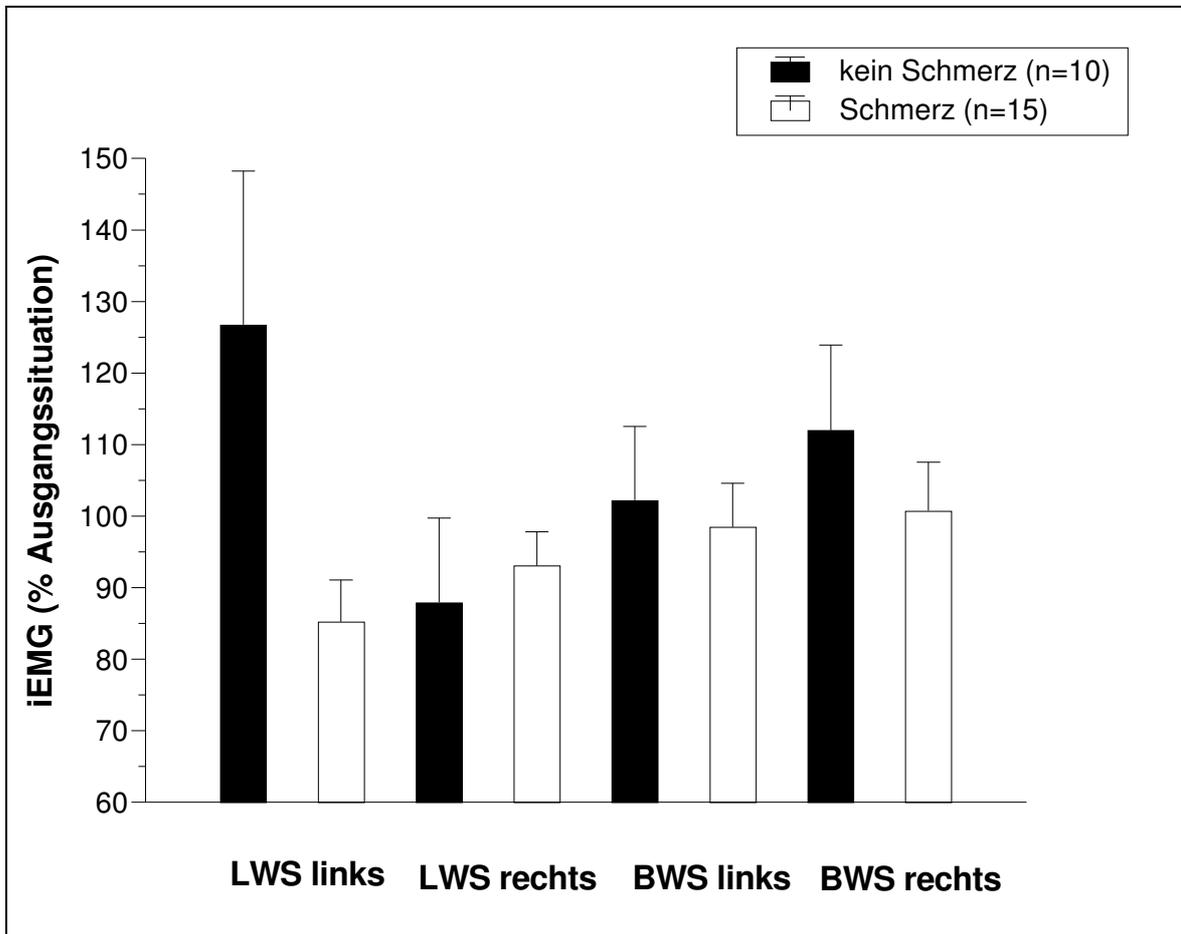


Abb. 20: EMG-Aktivität der wirbelsäulennahen Muskulatur am ersten Liegetag bei „kein Schmerz/Schmerz“.

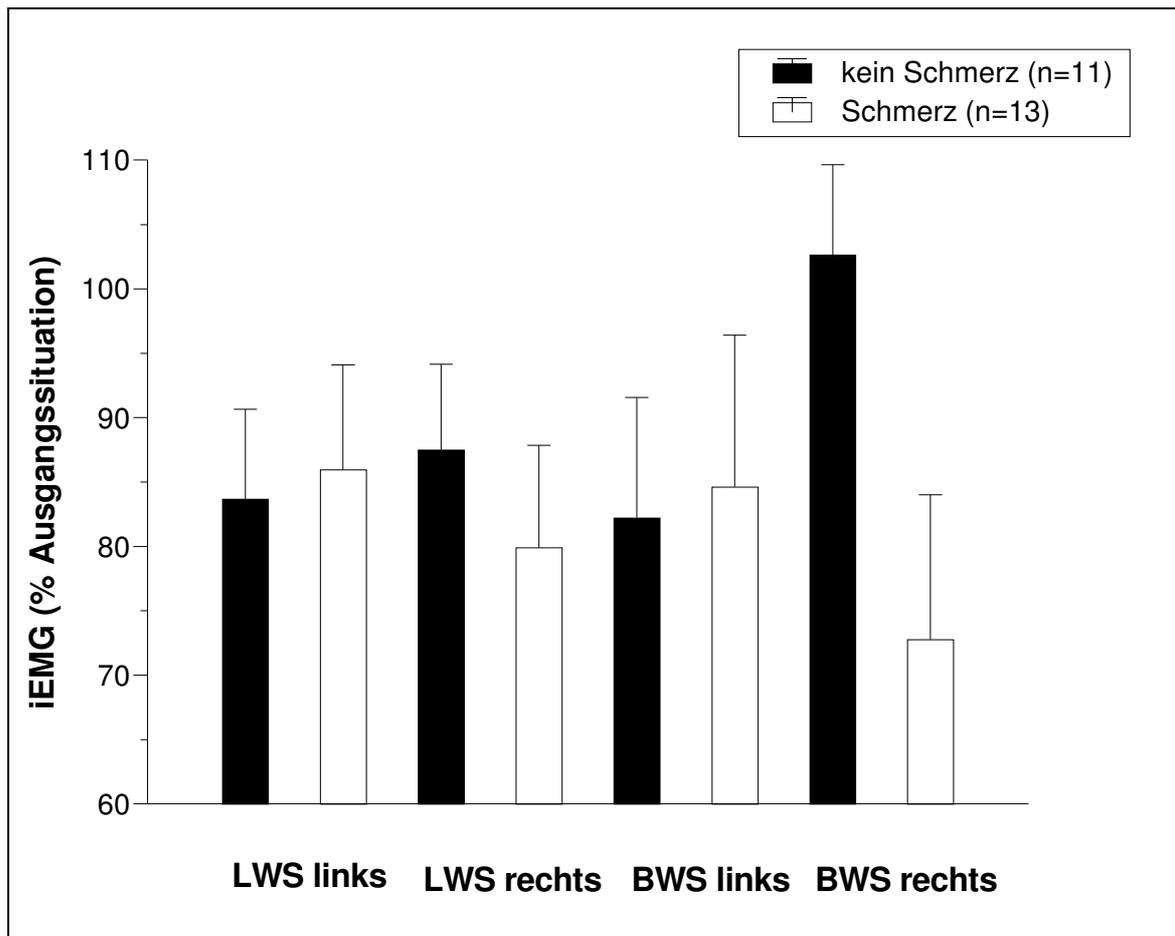


Abb. 21: EMG-Aktivität der wirbelsäulennahen Muskulatur am fünften Liegetag bei „kein Schmerz/Schmerz“.

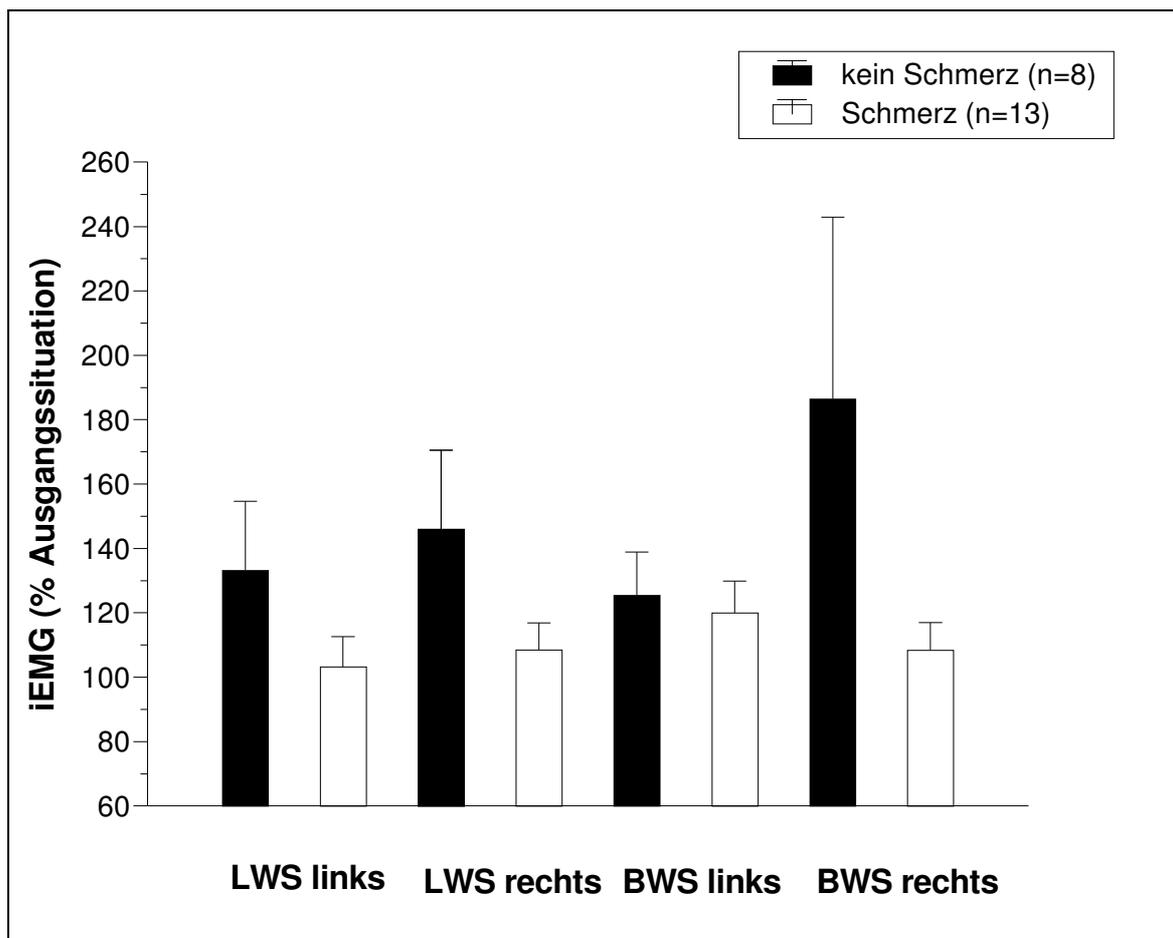


Abb. 22: EMG-Aktivität der wirbelsäulennahen Muskulatur am zweiten Tag nach der Liegephase bei „kein Schmerz/Schmerz“.

### 3.9 Schmerz und Bewegungsverhalten

Bei der näheren Betrachtung der Zusammenhänge zwischen dem subjektiv angegebenen Schmerz und den gemessenen Parametern der Ultraschalldiagnostik wurden die Probanden an den Messzeitpunkten, an denen die häufigsten Schmerzen mit den größten Intensitäten auftraten, in Gruppen mit oder ohne Schmerz eingeteilt.

Bei Mittelwertvergleichen der Probanden mit Rückenschmerzen gegenüber denen ohne Schmerzen zur gesamten Wirbelsäulenlänge, der Wirbelsäulenlänge thorakal, der Wirbelsäulenlänge lumbal, dem nächtlichen Bewegungsverhalten, der Flexibilität, der genutzten Bewegungsamplitude und den aufsummierten Streckenänderungen über 24 Stunden, konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Weiterhin ergab sich keine Korrelation zwischen Schmerzintensität und der Änderung der summierten Streckenänderungen eines Tages, ausgehend vom Ausgangsniveau zum ersten und fünften Liegetag. Auf der Basis der Änderung von der Vorbereitungsphase zum ersten und fünften Liegetag ergaben sich auch keine weiteren Korrelationen zwischen Schmerzintensität und Bewegungsamplitude, der Gesamtlänge der Wirbelsäule, der Gesamtlänge thorakal, der Gesamtlänge lumbal und der Flexibilität der Probanden.

### 3.10 EMG-Aktivität und Bewegungsverhalten

In folgender Abbildung wird am Beispiel eines Probanden eine 24 h Aufzeichnung mit EMG und Ultraschall Diagnostik aus der Liegephase dargestellt. Dabei stellt der mittlere Abschnitt (Sekunden 20.000-40.000) die Nacht- bzw. Schlafphase dar. Dies wird durch die geringe elektromyographische Aktivität und Bewegung sichtbar.

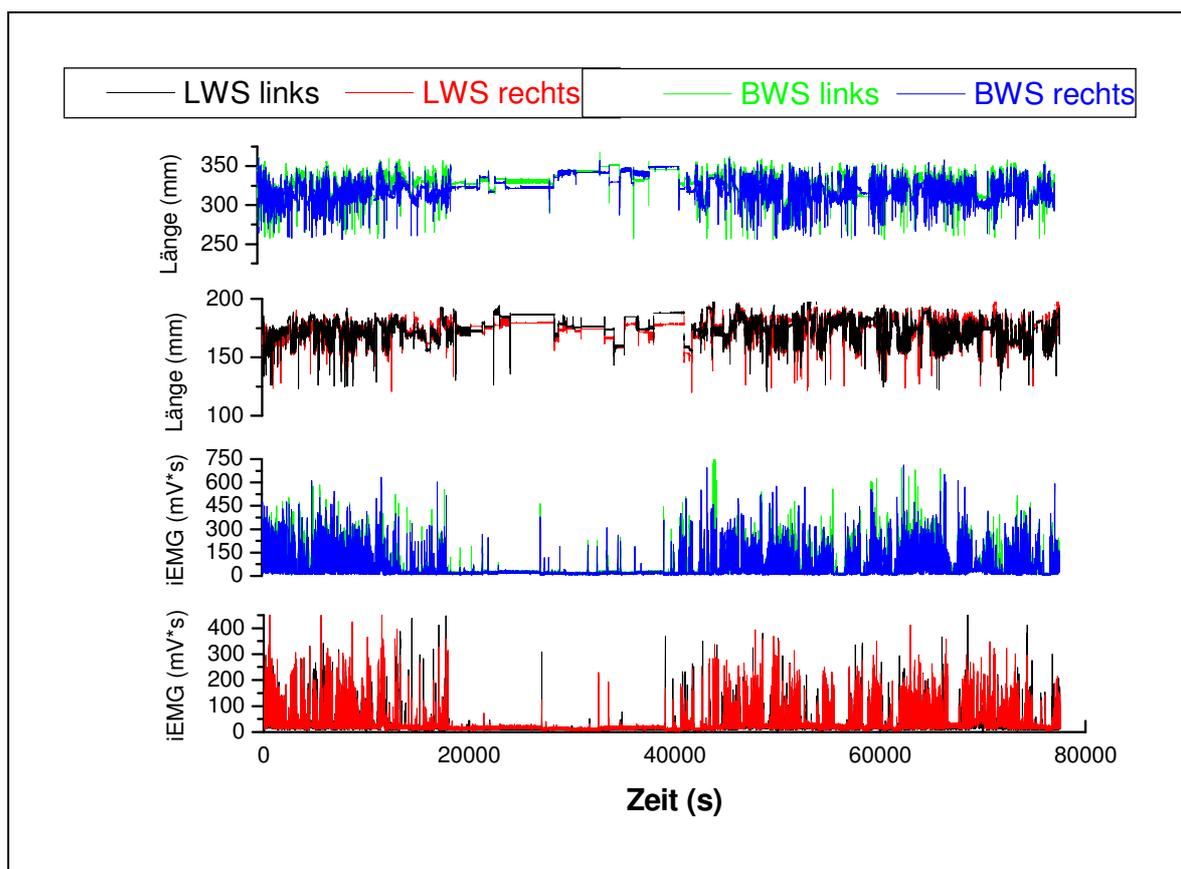


Abb. 23: Eine 24 h Aufzeichnung mit EMG und Wirbelsäulenvermessung, dargestellt am Beispiel eines Probanden aus der Liegephase.

Die folgende Abbildung zeigt die elektromyographische Aktivität der wirbelsäulen-nahen Muskulatur und die Längenveränderungen der Wirbelsäule eines Proban-

den aus der Trainingsgruppe während des Trainings an der Beinpresse. Hierbei ist die gesteigerte elektromyographische Aktivität bei den einzelnen Wiederholungen des Probanden sowohl im BWS- als auch im LWS-Bereich zu erkennen. Die Ultraschalldiagnostik im BWS-Bereich weist keine Besonderheiten auf, wohingegen im LWS-Bereich eine Verkürzung der gemessenen Punkte entlang der Haut festzustellen war. Dies ist auf eine Verstärkung der Lordose des Probanden bei den einzelnen Wiederholungen zurückzuführen.

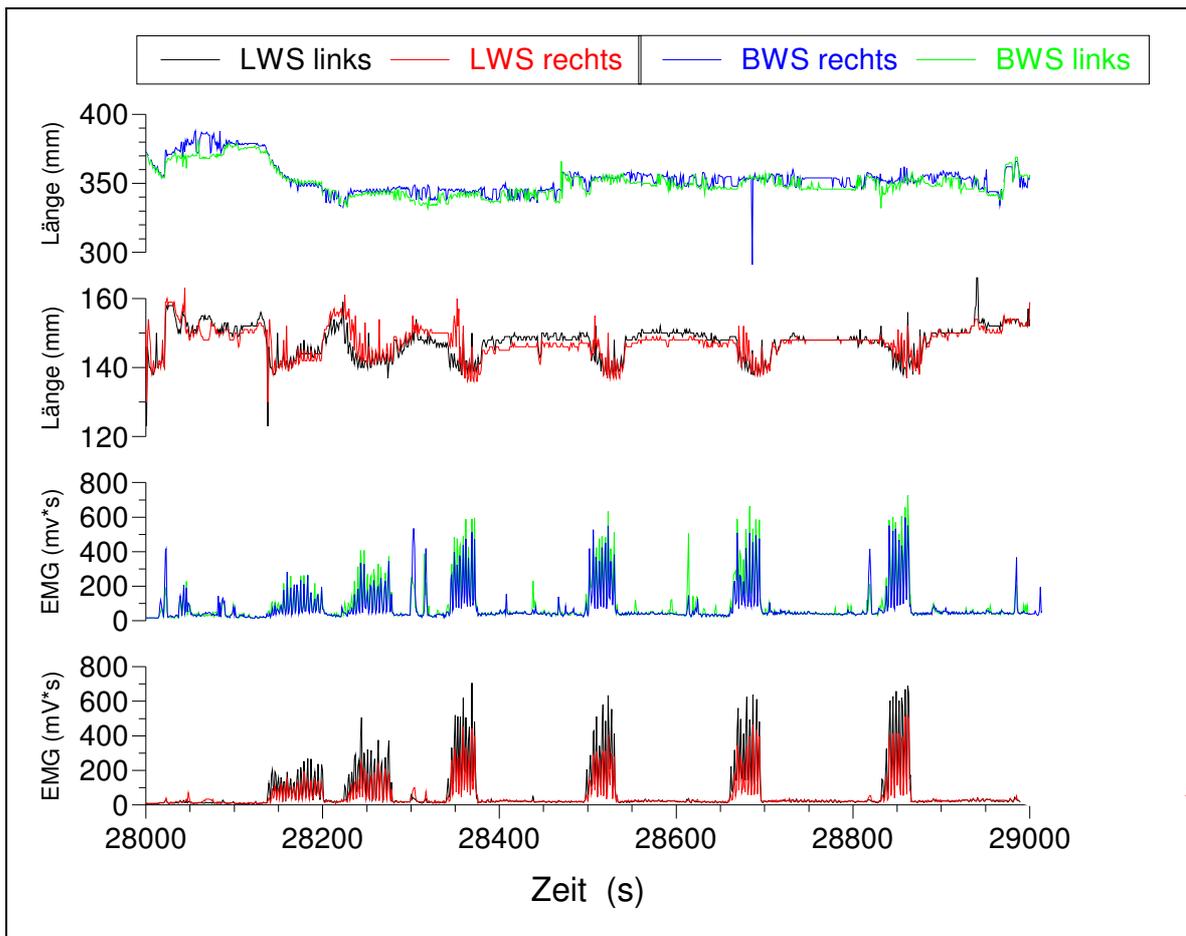


Abb. 24: Aufzeichnung eines Probanden aus der Liegephase beim Training an der Beinpresse.

## 4 Diskussion

Die Pathophysiologie des Rückenschmerzes birgt in sich eine Quelle der **Faszination**, **Frustration** und **Verwirrung** für Ärzte, Wissenschaftler und alle anderen Personen, die sich mit diesem Problem und seiner Lösung beschäftigen.

Die **Faszination** besteht in der Komplexität der Strukturen, die als potentielle Ursachen für die Pathogenese von Rückenschmerzen in Frage kommen. Involviert sein können Knochen, Gelenke, Bänder, Fettgewebe, multiple Lagen von Muskulatur, periphere Nerven, Nervenwurzeln, Sensorganglien, autonome Ganglien und das Rückenmark. Diese Strukturen werden von einem komplizierten Arterien- und Venensystem ernährt und liegen nahe der Haut mit deren Rezeptoren. Bei einem Trauma reagiert jede dieser Strukturen mit der Auslösung biochemischer oder immunologischer Substanzen, die Rezeptoren stimulieren können. Die Komplexität dieser Vorgänge bietet die Grundlage für die bisher kaum verstandenen neurophysiologischen Mechanismen des Schmerzauftritts. Zu berücksichtigen ist das Zusammenspiel der peripheren Stimuli, der Rückenmarksreflexe, der zentralen Schmerzmodulationssysteme und die enge Verbindung zum Schmerzauftritt mit seinen emotionalen Reaktionen (HALDEMANN 1999).

Die **Frustration** zeigt sich darin, dass trotz der unterschiedlichsten Ansätze von präventiven und rehabilitativen Maßnahmen der Rückenschmerz eine der größten Zivilisationserkrankungen in den westlichen Industrienationen darstellt und die Erkrankungen stetig ansteigen (HILDEBRANDT 2005, PFINGSTEN 2005, HARTMANN 2003).

Die **Verwirrung** bleibt, weil es trotz zunehmender diagnostischer und bildgebender Verfahren und den weltweit meisten wissenschaftlichen Publikationen auf einem Fachgebiet nicht immer möglich ist, zu selektieren, wer Schmerzen hat und wer nicht sowie warum jemand Schmerzen hat oder nicht (MODIC et al 2005, HILDEBRANDT 2005, COHEN et al. 2005, RESNIK und DOBRYKOWSKI 2005, DONELSON 2004, GALEN 1999, ODDSON et al. 1997).

Als bedeutsam für die Entstehung und Chronifizierung von Rückenschmerzen wird heute der Faktor „Verlust an Wirbelsäulenstabilität“ angesehen. PANJABI (1992) entwickelte ein Modell zur Instabilität, das heute weitgehend akzeptiert wird (HILDEBRANDT 2004). Diesem liegt die Überzeugung zugrunde, dass Rückenschmerzen meistens durch eine mechanische Störung im System der Wirbelsäule entstehen. Dabei geht der Autor von drei Subsystemen aus, die für die spinale Stabilisierung verantwortlich sind.

Zum einen ist das passive Subsystem anzuführen, das aus ossären, artikulären und ligamentären Strukturen besteht und welches das Bewegungsausmaß vorwiegend am Ende des physiologischen Bewegungsausmaßes innerhalb eines Segments kontrolliert und begrenzt.

Das zweite aktive Subsystem wird von der Muskulatur dargestellt.

Die Kontrolle der Muskulatur wird von dem dritten Subsystem, dem neuralen Kontrollsystem übernommen. Dabei erfolgt die Aktivierung nicht ausschließlich durch efferente, willkürliche Befehle zur Kontraktion, sondern durch eine afferente Rückmeldung aus dem aktiven und passiven Subsystem, wie den Rezeptoren der Bänder und Muskelspindeln. Damit wird eine adäquate und situationsabhängige Aktivierung gewährleistet.

Strukturelle oder funktionelle Störungen in einem der o. a. Bereiche können eine mangelhafte Steuerung und Kontrolle des spinalen Stabilitätssystems initiieren und damit Rückenschmerzen mit folgender Ermüdung, Schwäche und Koordinationsdefiziten der Muskulatur verursachen (HILDEBRANDT 2004).

Da Schmerz aber auf der rein subjektiven Wahrnehmung des Einzelnen beruht und von Person zu Person stark variieren kann, ist eine lineare Beziehung zwischen der Expression des Schmerzes und dessen Auslöser nicht unbedingt zu erwarten, selbst wenn der Auslöser bekannt ist.

#### 4.1 Aufgetretene Rückenschmerzen beim Übergang von „normaler Aktivität“ zur Immobilisation

Die Teilstudie „Backpain“ der „Long-term-bed-rest-study 2001-2002“ (LTBR 2001-2002) untersucht die Pathogenese von Rückenschmerzen bei verlängertem Bettaufenthalt und die Wirksamkeit eines präventiven Bewegungsprogramms zur Linderung bzw. Verhinderung von Rückenschmerzen. Ein Novum an dieser Untersuchung war die Tatsache, dass diese Art von Schmerzen erstmals über eine Liegephase von 90 Tagen dokumentiert wurde.

Die Ergebnisse zur aufgetretenen Schmerzsymptomatik hinsichtlich Intensität, Lokalisation und Qualität sind bezüglich der Mobilisations- und Kontrollgruppe im Wesentlichen zu vergleichen mit den Erfahrungen aus vorangegangenen Studien (STYF et al. 2001, BAUM UND EBFELD 1999, STYF et al. 1997, HUTCHINSON et al. 1995). So traten die größten Schmerzen, vergleichbar mit den Schmerzverläufen in genannten Studien, in den ersten Tagen der Bettliegephase auf.

Auffällig war darüber hinaus, dass die Trainingsgruppe im Gegensatz zu den beiden anderen Gruppen, die ab dem achten Liegetag nahezu schmerzfrei waren,

über die gesamte Liegephase hinweg ein regelmäßiges Muster zu- und abnehmender Schmerzen zeigte. Dies und die direkte Befragung betroffener Probanden an den einzelnen Tagen weist auf einen Zusammenhang der Schmerzsymptomatik mit dem ab dem fünften Liegetag alle zwei bis drei Tage stattfindenden Krafttraining der unteren Extremität hin. Das Training fand während der gesamten Liegephase statt und wurde als Maßnahme gegen Muskel- und Knochenmasseabbau eingesetzt. Diese Schmerzursache, die unter anderem mit den biomechanischen Bedingungen des Trainings zusammenhängt, überlagert die liege- und minderbelastungsbedingte Schmerzsymptomatik vollständig. Sie lässt gezielte Vergleiche mit der Mobilisations- und Kontrollgruppe nur eingeschränkt zu und ist deshalb im Sinne der Fragestellung nicht ausführlich zu diskutieren.

Festzuhalten bleibt allerdings, dass jeder einzelne Proband der Krafttrainingsgruppe im Mittel jeden zweiten bzw. dritten Liegetag Rückenschmerzen angab und somit fünffach so häufig von Schmerzen betroffen war wie die Probanden aus den beiden anderen Gruppen (siehe Abb. 7). Es wird deutlich, dass beim Training der unteren Extremität an der speziell konzipierten Beinpresse vor allem im lumbalen Abschnitt der Wirbelsäule hohe biomechanische Belastungen auftraten. Diese hohen, impulsartigen Druckbelastungen in Verbindung mit Hyperextension (siehe Abb. 24) bei zunehmend unzureichender Rückenstabilisierung konnten unter den gegebenen Bedingungen der Langzeitminderbelastung ohne ein gezieltes Rumpfstabilisationstraining nicht ausreichend kompensiert werden.

Der dokumentierte Schmerzverlauf zeigt eindeutig auf, dass besonders die Folgetage nach dem Übergang von „normaler Aktivität und Bewegung“ zur Liegephase (und umgekehrt) als besonders kritisch für die Schmerzgenese zu bewerten sind. Dies lässt auf einen Zusammenhang zwischen der Kausalität des Rückenschmerzes mit einer sprunghaften Veränderung des Bewegungs- und Belastungsniveaus schließen (zumindest solange bis erste Anpassungsprozesse an den neuen funktionellen Zustand erfolgt sind).

## 4.2 Potentielle Ursachen für die Pathogenese der aufgetretenen Rückenschmerzen

Die Ätiologie der aufgezeigten Rückenschmerzen während und nach der Immobilisation könnte durch mehrere Faktoren beeinflusst worden sein.

In Betracht zu ziehen ist unter anderem die Verlängerung der Wirbelsäule, die sich durch das Aufquellen der Bandscheiben und eine Veränderung der Wirbelsäulenkurvaturen erklären lässt. In diesem Zusammenhang können auch Mikrorisse in den

Bandscheiben und den intervertebralen Ligamenten als Faktoren der Schmerzgenese vermutet werden.

Das durch die Immobilisation veränderte Bewegungs- bzw. Belastungsniveau erklärt nicht, welche Strukturen oder morphologische Entwicklungen an der Schmerzursache beteiligt sind. Jedoch scheinen der Wechsel von Aktivität zu Inaktivität (oder umgekehrt) und/oder das Einnehmen von Zwangshaltungen/-positionen eine wichtige Rolle zu spielen.

Des Weiteren könnte trotz Immobilisation eine Tonuserhöhung der paraspinalen Muskulatur in Betracht gezogen werden. Diese Erhöhung hätte die Funktion, reflektorisch dem Verlust an Wirbelsäulenstabilität entgegenzuwirken. Damit wäre der schmerzauslösende Faktor in einer Kapillarkompression und daraus resultierender Ischämie zu sehen.

Als qualitativ und quantitativ schwer fassbare Größe muss auch die Psyche mit ihren Auswirkungen auf den Körper mit einbezogen werden.

Darüber hinaus könnte nach dem Aufstehen in der Erholungsphase Muskelkater eine potentielle Schmerzursache darstellen.

Im Folgenden sollen die aufgezählten Faktoren einzeln diskutiert und ihr Einfluss auf die Pathogenese der Rückenschmerzen bewertet werden.

#### 4.2.1 Veränderung der Wirbelsäulenlänge

Die Wirbelsäulenlänge wird einerseits beeinflusst durch das Aufquellen bzw. Abflachen der Bandscheiben sowie andererseits aus einer Verformung der Kurvaturen (Verstärkung/Ablachung der Lordose/Kyphose). Da eine Veränderung der Wirbelsäulenkurvaturen vom Themenbereich veränderter Bewegungsamplituden nicht losgelöst betrachtet werden kann, werden diese zusätzlich in Kapitel 4.2.3 diskutiert.

In der vorliegenden Studie nahm die Wirbelsäulenlänge der Probanden in allen drei Gruppen während der Liegephase um etwa zwei bis vier Prozent im Vergleich zur Ausgangssituation zu. Die gesteigerte Wirbelsäulenlänge wurde während der gesamten Liegephase beibehalten. Dabei zeigte die Kontrollgruppe - mit Ausnahme vom ersten Bettliegetag - zu jedem Messzeitpunkt die größte mittlere Gesamtlängenzunahme der Wirbelsäule. Es gab aber weder während noch nach der Liegephase signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen.

Nach der Bettliegephase kehrten die Wirbelsäulenlängen der Trainings- und Mobilisationsgruppe relativ schnell wieder zu ihren Ausgangswerten zurück, die

Kontrollgruppe, die hinsichtlich ihrer körperlichen Aktivität im Bett radikal eingeschränkt war, behielt ihr gesteigertes Niveau hingegen über acht Tage bei.

WING et al. (1991) gehörten zu den ersten Autoren, die Rückenschmerzen bei Astronauten in Schwerelosigkeit mit einer Verlängerung der Wirbelsäule in Verbindung brachten.

Als Schmerzauslöser kommt in diesem Fall die erhöhte Zugbelastung auf die Gelenkkapseln der Intervertebralgelenke, das Aufquellen der Bandscheiben sowie das Dehnen paraspinaler Bandstrukturen und der Muskulatur in Frage (STYF et al. 2001, STYF et al. 1997, HUTCHINSON et al. 1995, KRUPINA et al. 1967).

Für die Entwicklung der Rückenschmerzen in Schwerelosigkeit werden das Dehnen der Dura, der anterior/posterior Longitudinal-Ligamente, des Ligamentum flavum, supra/-intraspinaler Ligamente oder das Dehnen des Annulus angegeben. Dies kann Nozizeptoren stimulieren.

Wenn einer dieser Mechanismen für die in Schwerelosigkeit aufgetretenen lumbalen Schmerzen verantwortlich wäre, würde dies die gesamte Wirbelsäule betreffen und sich nicht auf den unteren Teil reduzieren (KERSHNER und BINHAMMER 2004).

KERSHNER und BINHAMMER (2004) verlängerten fixierte Wirbelsäulen von menschlichen Kadavern durch mechanischen Zug und versuchten damit, die Bedingungen in Schwerelosigkeit zu imitieren.

Ihre Untersuchung konnte zeigen, dass intrathekale Ligamente, die dorsale Nervenwurzeln mit der Dura Mater verbinden, signifikant höhere Spannung auf die Nervenwurzeln ausüben und damit Schmerzen verursachen können. Bei verstärkter Spannung auf der Nervenwurzel müsste davon auszugehen sein, dass die Astronauten in Schwerelosigkeit über eine radikuläre Symptomatik klagen. Dies ist erfahrungsgemäß nicht der Fall. Ebenso konträr zu dieser Annahme ist die von BAUM et al. (1995) gemachte Erfahrung, dass eine Flexionshaltung (Einnahme der Fötalposition) zu einer kurzfristigen Schmerzerleichterung führen kann.

In diesem Fall weisen KERSHNER und BINHAMMER (2004) allerdings darauf hin, dass unter Umständen nur für das dorsale Ramus bestimmte Schmerzfasern (je nach Lage der Verbindung der intrathekalen Ligamente) involviert sind.

Um die Schmerzen in Schwerelosigkeit zu verhindern, empfehlen sie das Dehnen der Ligamente vor dem Flug. Als weitere beteiligte Faktoren bei der Schmerzgenese schließen die Autoren Mikrorisse in den Bandscheiben oder in den intravertebralen Ligamenten in der lumbalen Region nicht aus. Auf diese potentiell an der Schmerzgenese beteiligten Faktoren wird konkret in Kapitel 4.2.2 eingegangen.

Obwohl die Studie von KERSHNER und BINHAMMER (2004) aufgrund der Wirbelsäulenverlängerung die Bedingungen unter Schwerelosigkeit teilweise imitiert, bleiben

einige kritische Punkte zu klären. Die Verlängerung der Wirbelsäule über mechanischen Zug wurde innerhalb von 30 Minuten erreicht und war auf 2,5 cm beschränkt. Dahingegen nimmt diese im Weltall eine wesentlich längere Zeitspanne in Anspruch und ist entsprechend von größerem Ausmaß. Des Weiteren wird in der Literatur von keiner radikulären Symptomatik bei Astronauten in Schwerelosigkeit berichtet. Ebenso wurde in der Studie mit menschlichen Kadavern eine Längenadaptation der Ligamente innerhalb kürzester Zeit erreicht. Dies ist möglicherweise auf fehlende Muskulatur und auf fehlendes Gewebe bei den Präparationen zurückzuführen. Demzufolge ist in diesem Fall ein Transfer der Ergebnisse von präparierten menschlichen Kadavern auf in situ Bedingungen als kritisch zu bewerten.

#### 4.2.1.1 Der Einfluss von Kompression und von fehlender Kompression auf Bandscheiben

MCGILL und AXLER (1996) stellten fest, dass ein 32stündiger Betaufenthalt die Wirbelsäulenlänge nicht über die normale Morgengröße hinaus steigert. Weiterhin berichten die Autoren, dass die NASA dennoch von beeindruckenden Höhenzunahmen von 40-60 mm in weniger als 32 Stunden Raumflug berichteten. Dies lässt die Vermutung zu, dass Bandscheiben in Schwerelosigkeit hyperhydrieren. Bei kritischer Betrachtung könnte hierbei jedoch auch ein Messfehler unterlaufen sein, denn diese extremen Ergebnisse werden in der aktuellen Literatur nicht weiter angeführt. Stattdessen werden bei der Simulierung der Bedingungen der Schwerelosigkeit durch Bettliegestudien Höhenzunahmen von 2-3 cm bei den Probanden angegeben (STYF et al. 2001, BAUM UND EBFELD 1999, STYF et al. 1997, HUTCHINSON et al. 1995).

LEBLANC et al. (1994) setzten MRI ein, um die Effekte von verlängertem Betaufenthalt auf die Bandscheibenvolumenverhältnisse zu untersuchen. Nach fünfwöchigem Betaufenthalt kehrten diese erst nach mehreren Tagen wieder auf ihr Ausgangsniveau zurück. Nach siebzehnwöchigem Betaufenthalt blieben die Bandscheiben sechs Wochen lang oberhalb ihrer Ausgangswerte. Die Autoren erklärten dies mit einer Adaptation der spinalen Ligamente aufgrund der anhaltenden Spannung durch die aufgequollenen Bandscheiben.

Der Einfluss von Kompression auf den menschlichen Körper (besonders auf Bandscheiben) wird deutlich, wenn man das Auftreten von Rückenschmerzen bei amerikanischen und russischen Raumfahrern miteinander vergleicht: Im Gegensatz zu den amerikanischen Raumfahrern wurden russische Kosmonauten dazu angehalten, Kompressionsanzüge über mehrere Stunden am Tag zu tragen (WING

et al. 1991). Die russischen Kosmonauten berichten von einem weit geringeren Auftreten von Rückenschmerzen. Dabei geht aus der Literatur jedoch nicht hervor, wie groß der axiale Druck ist, der durch diesen Anzug auf das Skelett wirkt und wie lange er durchschnittlich getragen wurde. Es ist davon auszugehen, dass diese Änderungen der Belastungsbedingungen die täglichen Schwankungen der kompressiven Belastung für das Skelett und die Bandscheiben unter Schwerkraftbedingungen imitieren.

Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass die russischen Kosmonauten eine andere Schmerzperzeption hatten oder ihre Rückenschmerzen nicht angaben, weil sie für die Zukunft einen Ausschluss für weitere Einsätze befürchteten. Beide Möglichkeiten sind auf Grundlage der vorliegenden Literatur nicht nachweisbar, sondern sollen hier lediglich in Betracht gezogen werden.

Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob durch einen längeren Weltraumaufenthalt in Verbindung mit beeinträchtigtem Flüssigkeitsaustausch der Ernährungszustand der Bandscheiben gestört ist und dies zu Rückenschmerzen und damit zu einem Beginn von einer Bandscheibendegeneration führen kann (HUTTON et al. 2003). Auf der Grundlage ihrer Daten gehen HUTTON et al. davon aus, dass der normale tägliche Flüssigkeitsaustausch der Bandscheiben während eines Weltraumaufenthalts erheblich gehemmt werden kann.

Dies ist unter Umständen in dem Zusammenhang relevant, da ROBERTS et al. (1995) in den äußeren zwei bis drei Lamellen von menschlichen Bandscheiben und im vorderen longitudinalen Ligament Mechanorezeptoren entdeckt haben. Ihre Morphologie ähnelte denen von Pacianischen Korpuskeln, Ruffini-Enden und am häufigsten denen von Golgi-Sehnen-Organen mit ihrer nozizeptiven Funktion. Die Autoren fanden diese in 50 % der untersuchten Bandscheiben bei von Rückenschmerz betroffenen Probanden (14 Personen, Durchschnittsalter  $41,0 \pm 9,9$  Jahre) und bei 15 % von schmerzfreen Probanden der Kontrollgruppe (15 Probanden mit Skoliose, Durchschnittsalter  $17,9 \pm 10,8$  Jahre). Da eine Stimulation von Mechanorezeptoren erhebliche Muskelkontraktionen, wie Spasmus hervorrufen kann, ist dies möglicherweise mit dem Auftreten von Schmerzen in Verbindung zu bringen. Einschränkung sollte darauf hingewiesen werden, dass die beiden Untersuchungsgruppen altersmäßig nicht optimal zueinander passten und deshalb die Verteilung der Rezeptoren möglicherweise auf den Altersgang zurückzuführen ist.

MACLEAN et al. (2003) untersuchten in einem Tierversuch die zelluläre Reaktion von Bandscheiben auf dynamische Kompression und Immobilisation (72 Stunden). Sie

verwendeten dabei ein „Ratten-Schwanz-Modell“, das bei solchen Untersuchungen für gewöhnlich eingesetzt wird, weil es die genaue Kontrolle über die mechanische Belastung der Bandscheiben erlaubt und Manipulationen durch andere Faktoren ausschließt (SIMUNCIC et al. 2001, IATRIDIS et al. 1999, LATORRE et al. 1998, LOTZ et al. 1998, STOKES et al. 1998, OSHIMA et al. 1993, TAKENAKA et al. 1987). Mit ihrer Untersuchung konnten sie zeigen, dass kurzfristige hohe komprimierende Belastungen, genauso wie Immobilisierung eine Abnahme in der Expression anaboler Gene (Kollagen Typ 1 und 2) und einen Anstieg der Expression kataboler Gene (Aggrecanase-1, Stromelysin-1 und Kollagenase-3) im Annulus fibrosus verursachen können. Diese Veränderungen deuten jedoch lediglich auf Umbauprozesse für die Zellen des Annulus fibrosus hin. Inwieweit dies mit einer Expression von Schmerzen einhergeht, gilt es noch aufzuzeigen.

Der Einfluss der kompressiven Belastung auf die Bandscheiben während normaler täglicher Aktivität wurde von HUTTON et al. (2003) und MALKO et al. (2002) untersucht. Die alltägliche Belastung resultiert in einem Flüssigkeitsein- und -ausfluss und wird als bedeutend für den Ernährungszustand der Bandscheibe angesehen. Die Autoren untersuchten mit Hilfe von MRI die Flüssigkeitsaufnahme von Bandscheiben über Nacht. Am darauf folgenden Morgen mussten sich die fünf in die Studie eingeschlossenen Probanden einem vorgegeben achtstündigem „Gehprotokoll“ unterziehen. Hierbei wurde nach jeweils 40 Minuten Gehen eine weitere Messung durchgeführt, die über zehn Minuten im Liegen erfolgte. Es konnte gezeigt werden, dass selbst acht Stunden Gehen nicht ausreichend sind, um auf das Ausgangsniveau der Volumenverhältnisse der Bandscheiben des vorherigen Abends zurückzukehren. Diese Ergebnisse sind mit einigem Abstand auch relevant für die Bedingungen, denen Astronauten in Schwerelosigkeit oder Probanden von Bettliegestudien ausgesetzt sind. Die über längere Zeit fehlenden kompressiven Belastungen resultieren in einem Aufquellen der Bandscheiben. Um diesem entgegenzuwirken, führen Astronauten an Bord der Raumschiffe kurze Übungsprotokolle durch, um die tägliche Belastung zu simulieren. HUTTON et al. (2003) sowie MALKO et al. (2002) gehen aufgrund der in ihren Studien gemachten Erfahrungen davon aus, dass die Kurzeitübungen, die von den Astronauten durchgeführt werden, nicht ausreichend sind, um die Volumenverhältnisse von Bandscheiben unter normalen Aktivitätsbedingungen auf der Erde zu erreichen.

Auch in der durchgeführten Bettliegestudie konnte kein Abflachen der Bandscheiben erreicht werden. Weder mit dem präventiven Rückenmobilisationstraining, noch beim Training der unteren Extremität an der Beinpresse konnten die Wirbelsäulenlängen signifikant beeinflusst werden.

Zur Lösung des Problems fehlender oder eingeschränkter Kompression in Schwerelosigkeit und während Liegestudien schlagen LEE et al. (2003) den Einsatz eines „Kompressionsgeschirrs“ vor. Dies könnte die thorakalen und lumbalen Abschnitte der Wirbelsäule komprimieren und dadurch ihre Distorsion verhindern. Dabei imitiert das eingesetzte Geschirr allerdings nicht die normalen physiologischen Bedingungen unter Einfluss der Schwerkraft. Denn sowohl im thorakalen, als auch im lumbalen Abschnitt herrschen nahezu identische Belastungen. Dagegen nimmt normalerweise kраниokaudal die kompressive Belastung auf die Strukturen zu. Das eingesetzte „Kompressionsgeschirr“ bestand aus einer Oberkörperweste, einer Fußplatte und einer Bandbefestigung, die beide Komponenten miteinander verband. Der Einfluss des Geschirrs auf die Bandscheibenhöhe und die Wirbelsäulenkrümmung im lumbalen Abschnitt der Wirbelsäule wurde mit Hilfe eines vertikal offenen MRI-Systems gemessen. Dabei wurde die aufrechte Wirbelsäulenposition der Probanden (n=5) im Knien mit der Kompression des halben Körpergewichts der Teilnehmer über das „Kompressionsgeschirr“ in Rückenlage verglichen. Die Messung dauerte 30 Minuten. Es ist bei dieser Methode fraglich, inwieweit innerhalb von 30 Minuten überhaupt Veränderungen der Bandscheibenhöhe erreicht werden können. Dabei ist bekannt, dass es neun Stunden bis zu vier Tage dauert, bis Veränderungen des Gleichgewichtszustands von Bandscheiben erreicht sind (LEBLANC et al. 1994). Es wird aber auch davon berichtet, dass 80 % der Wirbelsäulenlängenänderungen innerhalb der ersten Stunden nach Belastung auftreten (STYF et al. 1997). In vorliegender Studie wurde die Messung auf 30 Minuten begrenzt, da die Probanden aufgrund der lokal aufgetretenen Schmerzen nur 30 Minuten kniend tolerieren konnten. Des Weiteren wurde die kompressive Belastung über die Fußplatte gemessen und zeigte effektiv nur die Belastung im Bereich der Füße und nicht im lumbalen Abschnitt der Wirbelsäule.

Als Ergebnis bleibt jedoch festzuhalten, dass die spinale Kompression in Rückenlage mit dem „Kompressionsgeschirr“ von der Tendenz her ähnliche Ergebnisse liefert, wie die physiologische Belastung der Wirbelsäule in aufrechter Position. Einschränkung muss jedoch angemerkt werden, dass die Ergebnisse nicht ohne weiteres auf die Situation in Schwerelosigkeit transferiert werden können. Damit kann keine Aussage darüber getroffen werden, inwieweit die spinale Kompression überhaupt Rückenschmerzen verhindern kann. Weitere diesbezügliche Studien stehen noch aus.

Als abschließendes Fazit zur gesteigerten Wirbelsäulenlänge kann festgehalten werden, dass diese nicht mit dem Auftreten bzw. der Intensität der Rückenschmerzen korreliert, da die gesteigerte Wirbelsäulenlänge während der Liegephase bei

allen drei Gruppen der vorliegenden Studie beibehalten wurde. Hingegen waren Kontroll- und Mobilisationsgruppe ab dem achten Liegetag nahezu schmerzfrei. Auch im Anschluss an die Liegephase konnten bezüglich der mittleren Wirbelsäulenlänge keine Schlüsse auf eine Schmerzgenese gezogen werden. Es wurde festgestellt, dass die Probanden der Trainingsgruppe, die ebenfalls bezüglich ihrer Länge schnell auf ihr Ausgangsniveau zurückkehrten, ebenso Rückenschmerzen angaben, wie die Probanden der Kontrollgruppe, die ihr erhöhtes Niveau für acht Tage beibehielten.

#### 4.2.2 Mikrorisse in Bandscheiben als Ursache für Rückenschmerzen

Die während Schwerelosigkeit und in Bettliegestudien fehlenden bzw. eingeschränkten kompressiven Belastungen und ihr diesbezüglicher Einfluss auf das Skelett sowie die Ernährungssituation von Bandscheiben können den Ansatz von Mikrorissen in Bandscheiben als Ursache für Rückenschmerzen nicht ausschließen.

Bandscheibendegenerativ bedingte Rückenschmerzen sind nicht radikulär und treten in Abwesenheit einer spinalen Deformation, Instabilität oder Zeichen neuraler Spannung auf (RHYNE et al. 1995). Sie entstehen aus der Bandscheibe selbst, dabei ist der Mechanismus nicht geklärt (MOONEY 1987). Obwohl ein MRI eine degenerierte Bandscheibe („schwarze Bandscheibe“) identifizieren kann, ist es trotzdem nicht möglich, eine pathologische Bandscheibe von einer physiologisch alternden zu unterscheiden (BUIRSKI und SILBERSTEIN 1993), denn oft finden sich degenerierte Bandscheiben auch bei unsymptomatischen Personen (JENSEN et al. 1994, HORTON und DAFTARI 1992, POWELL et al. 1986).

Die Diskographie gilt als wichtigstes diagnostisches Mittel, bandscheibendegenerativ bedingte Rückenschmerzen zu identifizieren. Dennoch bleibt eine kontroverse Diskussion hinsichtlich ihrer Spezifität und Genauigkeit, weil der Mechanismus der Schmerzgenese noch nicht endgültig geklärt ist. Das Charakteristikum der Diskographie ist der reproduzierbare Schmerz, der vom Patienten durch die Stimulation der Bandscheibe empfunden wird (SCHWARZER et al. 1995). Mehrere Studien haben die Reproduzierbarkeit des Schmerzes mit vorhandenen Rissen in den Bandscheiben in Verbindung gebracht. Diese Risse dehnen sich bis in äußere Teile des Annulus fibrosus aus (SAIFUDDIN et al. 1998, ITO et al. 1998, MONETA et al. 1994). Dabei kommen für die Schmerzentstehung alle Strukturen in Frage, durch welche das Kontrastmittel vom Nucleus pulposus bis in äußere Schichten des Annulus fibrosus rinnt. Der mittels Kontrastmittel optimierte axiale Blick des CTs

nach der Diskographie ermöglicht erst die Visualisierung der Risse in den „degenerierten Bandscheiben“.

Dieses Verfahren führte dazu, „schmerzhafte Bandscheiben“ histologisch und immunohistochemisch zu untersuchen und die Beziehung zwischen pathologischen Läsionen herzustellen sowie die Innervation von umgebendem Gewebe zu erforschen (PENG et al. 2005).

In bereits vorangegangenen Studien wurde die Verteilung von Nervenfasern in unterschiedlichen Teilen menschlicher Bandscheiben beschrieben (KOJIMA et al. 1990 (a), KOJIMA et al. 1990 (b), BOGDUK 1983). Die Nervenfasern können Nozizeptoren darstellen (AHMED et al. 1993, MCCARTHY et al. 1992, KONTTINEN et al. 1990, LIESI et al. 1983). Bis zur Untersuchung von PENG et al. (2005) gab es jedoch noch keine Beschreibungen bezüglich des Einwachsens von Nerven entlang der Risse oder der Fissuren von Bandscheiben. PENG et al. untersuchten 19 Proben von 17 Probanden, bei denen die strukturellen Veränderungen der Bandscheiben als Auslöser für die Rückenschmerzen angenommen wurden. Des Weiteren untersuchten sie zwölf Proben von physiologisch alternden Bandscheiben sowie zehn Kontrollbandscheiben von schmerzfreien Probanden. Dabei wurden histologische Besonderheiten und die immunoreaktive Aktivität in den Nervenfasern betrachtet. Bei den Proben der Personen mit Rückenschmerzen ergab sich als histologisches Charakteristikum die Formierung einer Zone von vaskularisiertem Granulationsgewebe vom Nucleus pulposus bis zu äußeren Teilen des Annulus fibrosus entlang der Fissuren. Es wurde das Einwachsen von Nerven bis tief in den Annulus fibrosus und den Nucleus pulposus beobachtet. Dies weist darauf hin, dass die Zone des angehäuften Granulationsgewebes und die Innervation entlang der Risse als Ursache für die Rückenschmerzen angenommen werden können.

Es ist nicht auszuschließen, dass auch akute nichtspezifische Rückenschmerzen durch das Auftreten von Mikrorissen in Bandscheiben hervorgerufen werden können.

HYODO et al. (2005) untersuchten in ihrer Studie die klinischen Charakteristika von akuten nichtspezifischen Rückenschmerzen. Diese sind charakterisiert durch plötzliches Auftreten mit erheblichen Schmerzen ohne radikuläre Symptomatik in der unteren Extremität, die bereits durch kleinste Bewegungen provoziert werden können. In die Studie von HYODO et al. (2005) waren 55 Patienten eingeschlossen, die akute nichtspezifische Rückenschmerzen angaben. Alle wiesen bei auf T2 gewichteten MR-Abbildungen Degenerationen auf und wurden intradiskalen Injektionen von lokalen Anästhetika, Steroiden und Kontrastmitteln unterzogen.

Selektiert wurden hierbei die Bandscheiben, die die größten Degenerationen aufzeigten. Aufgrund einer Verbesserungsrate von 70 % innerhalb von fünf Minuten nach der Injektion, wurde für die akuten nichtspezifischen Rückenschmerzen eine bandscheibenbedingte Ursache angenommen. Daraufhin wurden die klinischen Charakteristika und die Pathogenese untersucht. Als Ursache für das Auftreten der akuten Rückenschmerzen ziehen die Autoren eine Ruptur im Bereich des hinteren Annulus fibrosus in Betracht. Diese radialen Schnitte wurden bei allen Patienten durch die Diskographie festgestellt. Auf den Abbildungen dehnten sich diese bis in äußere Schichten des Annulus fibrosus mit dessen Nozizeptoren aus.

In der Studie von HYODO et al. (2005) wiesen die Bandscheiben der Probanden lediglich geringe degenerative Veränderungen auf. Die Autoren halten es für wahrscheinlich, dass der Druck im Innern der Bandscheiben angestiegen ist. In Kombination mit Körperbewegungen könnte dieser gesteigerte Druck zu den Nozizeptoren der äußeren Schichten des Annulus fibrosus übertragen werden.

Inwieweit diese Erkenntnisse dazu beitragen können, die Ätiologie der während der Bettliegestudie aufgetretenen Rückenschmerzsymptomatik aufzuklären, ist als kritisch zu bewerten. Der Hypothese von Mikrorissen als Ursache von akuten unspezifischen Rückenschmerzen der Personen aus der Bettliegestudie steht gegenüber, dass die Probanden der Mobilisationsgruppe, die sich sogar mehrfach am Tag einem gezielten Bewegungsprogramm unterzogen haben, die geringsten Schmerzen aufwiesen. Wären Mikrorisse schmerzauslösend, hätten Bewegungen die Situation verschlechtert.

Um Aussagen zum Einfluss von strukturellen Veränderungen der Bandscheiben als auslösender Faktor bei der Entwicklung von Rückenschmerzen während Immobilisation treffen zu können, sind diesbezügliche histologische und immunohistochemische Untersuchungen nötig.

### 4.2.3 Eingeschränkte Bewegungsamplituden

Die Wirbelsäule stellt eine vielgliedrige kinematische Kette dar. Deshalb ist das Bewegungsverhalten dieses Systems über einen längeren Zeitraum als potentielle Ursache bei der Entstehung von Rückenschmerzen mit in Betracht zu ziehen (BAUM und EBFELD 1999) - dies auch deshalb, weil von symptomatischen Probanden Bewegungen des Rückens zur Schmerzreduktion eingesetzt werden (BAUM et al. 1995, HUTCHINSON et al. 1995). Gezielte Aussagen zur Beteiligung des Bewegungsverhaltens der Wirbelsäule an der Pathogenese von Rückenschmerzen erfordern eine kontinuierliche Erfassung dessen über einen längeren Zeitraum.

Die Hypothese, dass verringerte Bewegungsamplituden mit der Rückenschmerzgenese einhergehen, konnte durch die erhobenen Daten bestätigt werden. Dabei gilt es allerdings auch zu differenzieren:

Die Probanden der Mobilisationsgruppe, die zur Verhinderung bzw. Linderung von Rückenschmerzen langsame Bewegungen mit großen Amplituden durchführten, zeigten zu Beginn der Liegephase ebenso Rückenschmerzen, wie die Teilnehmer der beiden anderen Gruppen, die keine präventiven Bewegungen des Rückens mit großen Amplituden durchführten. Dies lässt die Annahme zu, dass zu Beginn der Liegephase die verringerten Bewegungsamplituden nicht unbedingt als kausal für die Schmerzgenese anzusehen sind. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, dass die gewählte Frequenz bei der Durchführung der großen Amplituden durch die Mobilisationsgruppe zu gering war.

Jedoch deckten sich die nahezu ausschließlich auf den lumbalen Abschnitt der Wirbelsäule erfassten Schmerzen zu Beginn der Liegephase mit verringerten Bewegungsamplituden in diesem Abschnitt (siehe Abb. 12). Abgesehen von den maximalen Bewegungsamplituden, die durch die Teilnehmer der Mobilisationsgruppe bei der Durchführung ihres präventiven Rückenprogramms erreicht wurden, galt dies für alle drei Probandengruppen während ihres „normalen Bewegungsverhaltens“ im Bett.

Der thorakale Anteil hingegen, der weit weniger von Schmerzen betroffen war, zeigte größere Bewegungsamplituden (siehe Abb. 11). Diese Tatsache unterstützt - in Verbindung mit einer ebenfalls registrierten Verlängerung der Wirbelsäule im Brustwirbelsäulenbereich - eher die Hypothese der verringerten Bewegungsamplituden als maßgeblich beteiligten Faktor an der Schmerzgenese. Die Dehnung paravertebralen Gewebes ist als Ursache für die Schmerzgenese in diesem Zusammenhang auszuschließen, da die Wirbelsäulenlänge im lumbalen Abschnitt in etwa dem gleichen Maße abnahm, wie sie im thorakalen Bereich zunahm.

Neben verringerten Bewegungsamplituden im lumbalen Abschnitt der Wirbelsäule könnten posturale Veränderungen, wie sie bei verlängertem Bettaufenthalt gegeben sind, an der Schmerzgenese beteiligt gewesen sein. Eine abnormale Haltung bewirkt eine Spannung auf Bänder und Muskeln.

EVCIK und YÜCEL (2003) gehen davon aus, dass posturale Veränderungen als Risikofaktor bei der Pathogenese von Rückenschmerzen mit einzubeziehen sind.

Sie untersuchten in ihrer Studie den Einfluss der lumbalen Lordose bei akuten und chronischen Rückenschmerzen. Eingeschlossen waren 50 Probanden mit akuten und 50 Probanden mit chronischen Rückenschmerzen, von denen sie im lumbosakralen Bereich Röntgenaufnahmen in seitlicher Position anfertigten. Dabei wurden die Patienten hinsichtlich ihrer Wirbelsäulenbeweglichkeit (maximale Band-

breite der Bewegung bei Flexion und Extension), dem sakralen Beugungswinkel, dem lumbosakralen Winkel und sakral/horizontalen Winkel untersucht. Als Ergebnis der Untersuchungen konnten EVCİK und YÜCEL (2003) festhalten, dass der sakrale Beugungswinkel bei chronischen Rückenschmerzpatienten signifikant erhöht war und mit der lumbalen Extension korrelierte. Ansonsten fanden sie keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Folglich beeinträchtigen chronische Rückenschmerzen den lumbalen Part der Wirbelsäule und begrenzen damit den maximalen Bereich der lumbalen Extension. Weitere Untersuchungen, die sich mit den Beziehungen von chronischen Rückenschmerzen und lumbalen Lordosewinkeln auseinandergesetzt haben, sind bis dato widersprüchlicher Natur (YODAS et al. 2000, POPE et al. 1985, HANSSON et al. 1985, DAY et al. 1984).

HARRISON et al. (1998) verglichen Vermessungen der Lordose von chronischen und akuten Rückenschmerzpatienten miteinander und kamen zu dem Schluss, dass die chronischen Patienten eine Hypolordose und die akuten eine Hyperlordose zeigten.

Eine Verstärkung der Lendenlordose zeigten auch die Probanden der Trainingsgruppe (Training an der Beinpresse), die - wie bereits diskutiert - jeweils an den Folgetagen Rückenschmerzen angaben. Durch die Fixierung der Füße der Probanden an das Gerät hatten diese vor allem bei den exzentrischen Bewegungen eine Verstärkung der Lordose tolerieren müssen (siehe Abb. 24). Dies kann in Verbindung mit den impulsartigen und relativ extremen Belastungen, vor allem beim Abfangen des Gewichts, unter den gegebenen Bedingungen der Minderbelastung im Bett die nachfolgenden Schmerzen initiiert haben.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, dass sich die Lendenlordose der Probanden durch die vorwiegende Rückenlage während des gesamten Untersuchungszeitraums verstärkt hat und es deshalb möglicherweise reflektorisch zu einer kontinuierlichen Spannung im Bereich der Muskulatur gekommen ist. Dies könnte zusätzlich Schmerz auslösend gewirkt haben.

Für die Bedeutung einer verstärkten Lordose als ursächlicher Faktor für Schmerzen spricht darüber hinaus, dass die Mehrzahl der Probanden während der ersten Woche der Liegephase, vor allem während und kurz nach dem Essen, über Schmerzen im lumbalen Abschnitt der Wirbelsäule klagten. Zunächst nahmen alle Probanden, die die 6°-Kopftieflage im Bett nicht aufgeben durften, ihre Mahlzeiten in Bauchlage ein und stützten sich dabei auf ihre Unterarme, um ihren Oberkörper dadurch leicht zu erhöhen. Die Lendenlordose wurde dadurch verstärkt und während der Mahlzeit beibehalten. Nach ein paar Tagen wurde nach Absprache mit

dem leitenden Arzt eine für die Probanden angenehmere Position beim Essen vereinbart. Die Probanden nahmen ihre Mahlzeiten in Folge wahlweise in Rücken- oder Seitlage ein. Daraufhin traten keine Schmerzen mehr im Zusammenhang mit der Nahrungsaufnahme auf.

Die Theorie von BAUM und EBFELD (1999), dass bei akuten Rückenschmerzen eine Schmerzlinderung durch Einnehmen einer Flexionshaltung erreicht werden kann, würde in diesem Falle das Auflösen der Hyperlordose bedeuten. Durch das Einnehmen der Flexionsstellung – in diesem Falle das Ausschöpfen der Amplitude in entgegen gesetzter Richtung – würde eine Dehnung der daran beteiligten Strukturen bewirkt. Auf den Einfluss der dehnenden Komponente des Rückenmobilisationsprogrammes wird noch ausführlich in Kapitel 4.4 eingegangen werden.

Ebenfalls vor dem Hintergrund eingeschränkter Bewegungsamplituden untersuchten HAMAOUI und BOUISSET (2004) in ihrer Studie die Steigerung der posturalen Schwankung bei Rückenschmerzpatienten. Sie führten bei einer Gruppe von zehn Personen mit Rückenschmerzen und einer Kontrollgruppe von zehn Personen ohne Rückenschmerzen Wirbelsäulenflexions-, -extensions- sowie -seitneigungstests und posturographische Standuntersuchungen bei unterschiedlichen experimentellen Bedingungen durch. Die Probanden mit Rückenschmerzen zeigten gesteigerte posturale Schwankungen in der sagittalen Achse und bei den Seitneigungstests. Zwischen den beiden Parametern gab es jedoch keine Korrelationen. Obwohl die Abnahme der maximalen Seitneigungsamplitude bei den Personen mit Rückenschmerzen signifikant war, schien sie nicht ausreichend zu sein, das posturale Gleichgewicht zu beeinträchtigen. Daraus schlussfolgerten die Autoren, dass die gesteigerte posturale Schwankung bei Rückenschmerzpatienten nicht abhängig ist von einer reduzierten Bewegungsbandbreite der Wirbelsäule. Sie gehen vielmehr davon aus, dass diese Schwankung eher mit einem Anstieg der muskulären Spannung, die die dynamische Bewegungskapazität reduziert, in Verbindung gebracht werden kann. Dabei erklärten sie die gesteigerte Spannung der perivertebralen Muskulatur entweder als Schmerzreflex durch nozizeptive Stimuli oder reflektorische Kontraktion der Muskulatur im Sinne eines protektiv bewachten Verhaltens.

Des Weiteren wird ein Anstieg der muskulären Spannung durch fehlende Entspannung beim Beugungs-Entspannungsphänomen von Rückenschmerzpatienten unterstützt (SHIRADO et al. 1995).

Durch die im Bett gegebene Immobilisation kann auch das kontinuierliche Einnehmen einer Position als maßgeblicher Faktor bei der Schmerzgenese diskutiert werden.

BERNARD et al. (1997) fanden für das Einnehmen von Zwangshaltungen bei sechs von zwölf auswertbaren Studien im Bereich „Arbeitsplatzbedingungen und Rückenschmerzen“ signifikante Zusammenhänge.

Ebenso zeigen einige Untersuchungen (MARRAS 1993, HOLMSTRÖM 1992, BURDORF et al. 1991, PUNNETT et al. 1991) hohe Odds Ratios für die Expression von Rückenschmerzen beim Einnehmen gewisser Haltungen oder Positionen am Arbeitsplatz. Gezielt untersucht wurden Zwangshaltungen im Beugen, Hocken und Sitzen.

Zwar sind die biomechanischen Gegebenheiten am Arbeitsplatz nicht zu vergleichen mit der Immobilisation einer Bettliegestudie, jedoch gibt dies evtl. einen möglichen Hinweis darauf, dass das Risiko für die Genese von „tiefsitzenden Rückenschmerzen“, wie sie von oben angeführten Autoren zumeist bezeichnet werden, durch das Einnehmen von Zwangshaltungen stark erhöht ist.

Durch die lang andauernde biomechanisch ungünstige Position im Bett in Kombination mit Bewegungsmangel und fehlender axialer Belastung kommt es zu einer Belastung der lumbalen Stabilität. Arthroligamentäre Schmerzen als eine Folge muskulärer Kompensation der Instabilität und der Belastung der Wirbelgelenke und Bänder müssen in Betracht gezogen werden (HARTMANN 2003).

Rückenschmerzen wurden bereits in mehreren Untersuchungen als signifikantes Problem nach koronaren Interventionen, hauptsächlich unter Patienten der westlichen Population, aufgezeigt (WANG et al. 2001, GULANICK et al. 1997, POOLER-LUNSE et al. 1996, FOWLOW et al. 1995). CHAIR et al. (2003) untersuchten 419 Probanden, die nach einer koronaren Angiographie mit einem femoralen Zugang bis zu 24 Stunden wegen möglicher vaskulärer Komplikationen immobilisiert waren und damit eine Zwangshaltung einnehmen mussten. Es sollte untersucht werden, inwieweit der Schweregrad der auftretenden Rückenschmerzen abhängig ist von der Dauer des Bettaufenthalts. Außerdem sollte evaluiert werden, welche Einflüsse das Umpositionieren der Patienten auf die Rückenschmerzempfindung und die vaskulären Komplikationen hat. Die Patienten wurden randomisiert einer Kontroll- oder experimentellen Gruppe zugeordnet. Die Kontrollgruppe (n=213) erhielt die „normale Pflege“ und verbrachte 8 bis 24 Stunden in Rückenlage, wobei das betroffene Bein gestreckt blieb. Die experimentelle Gruppe (n=206) wurde im Bett jede Stunde umpositioniert und wechselte die Positionen von Rücken- über Seitlage die ersten sieben Stunden nach der Angiographie. Neben demographischer Variablen wurden Blutungen und die Hämatombildung beurteilt

und eine numerische Schmerzintensitätsskala bezüglich der Rückenschmerzen eingesetzt.

Die Ergebnisse von CHAIR et al. (2003) zeigen auf, dass das Umpositionieren im Bett zu keinen signifikant verstärkten vaskulären Komplikationen führte. Außerdem zeigten die Patienten, die umpositioniert wurden, zu allen Untersuchungszeitpunkten signifikant niedrigere Rückenschmerzintensitäten. Auch korrelierte die Intensität der Rückenschmerzen mit der Dauer des Bettaufenthaltes - unabhängig davon, welche Gruppenzugehörigkeit vorlag.

Die Autoren schlussfolgern hieraus, dass rechtzeitiges Verändern der Position im Bett Rückenschmerzen reduzieren kann, die physische Befindlichkeit verbessert und möglicherweise negative Gedanken der Patienten gegenüber der koronaren Angiographie reduziert.

Basierend auf der Idee der Reduktion von Rückenschmerzen durch Umpositionieren oder häufigeres Bewegen wurde in der vorliegenden Liegestudie versucht, über das Aufsummieren der Wirbelsäulenlängen-Veränderungen das Bewegungsverhalten der Probanden im Bett nachzuvollziehen. Des Weiteren sollte über die Betrachtung der Dauer der bewegungsfreien Zeit während der Schlafphase (in einem zusammenhängenden 5 h Intervall – zwischen 23.00 und 6.30 Uhr, in dem die geringste Bewegung sichtbar war) ein Zusammenhang zwischen Rückenschmerzen und selbständigem Umpositionieren als potentielle Schmerzreduktion aufgezeigt werden. Die über den ganzen Tag aufsummierten mittleren Änderungen der segmentalen Wirbelsäulenlänge zeigten sowohl im thorakalen als auch im lumbalen Abschnitt eine signifikante Reduktion der Streckenänderungen für alle 3 Gruppen im Vergleich zur Ausgangssituation vor der Liegephase. Signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen gab es nicht. Mit Fokus auf das lumbale Segment (siehe Abb. 16) zeigte sich hierbei eine Tendenz, die darauf schließen lässt, dass sich die Probanden der Mobilisationsgruppe am meisten bewegt haben.

Die Betrachtung der bewegungsfreien Intervalle in der Schlafphase brachten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen. Tendenziell war es jedoch so, dass bei der Betrachtung der drei gewählten Messzeitpunkte mit der größten Schmerzsymptomatik bei den Probanden ohne Rückenschmerzen längere bewegungsfreie Intervalle auftraten, als bei den Probanden mit Schmerzen.

Anhand der o. a. Ergebnisse und Studien wird die Komplexität der Ursache–Wirkungsbeziehungen deutlich. Es wurde festgestellt, dass Rückenschmerzen in Bezie-

hung stehen mit einem verändertem Bewegungs- und Belastungsniveau. Verringerte Bewegungsamplituden im lumbalen Abschnitt der Wirbelsäule gingen mit der Entwicklung von Rückenschmerzen einher. Dabei scheint die Kausalität aber nicht geklärt, denn es besteht die Möglichkeit, dass die verringerten Bewegungsamplituden eine Folge der Rückenschmerzen waren.

#### 4.2.4 Tonuserhöhung der wirbelsäulennahen Muskulatur

In der vorliegenden Studie wurde der Schmerz in den meisten Fällen ca. 10-15 cm rechts und links der Wirbelsäule lokalisiert. Dies weist deutlich gegen einen Ursprung der Schmerzen aus dem vertebralem Gewebe hin. Hingegen ist bekannt, dass isometrische Kontraktionen, selbst bei geringer Intensität über längere Dauer, Schmerzen verursachen können (BAUM et al. 1995, SJOOGARD et al. 1986). In der Bettliegestudie wurde erstmals der Versuch unternommen, Schmerzwahrnehmung aufgrund eines Zusammenspiels von Bewegungsreduktion und Tonuserhöhung der wirbelsäulennahen Muskulatur zu erklären. Aus diesem Grunde wurde in vorliegender Untersuchung ein portables EMG-System eingesetzt, das in Verbindung mit der Wirbelsäulengeometrie durch Ultraschalldiagnostik Auskunft zu dieser Problematik geben sollte. Es wurde die Aktivität der wirbelsäulennahen Muskulatur über eine Dauer von  $23 \pm 1$  h aufgezeichnet. Aus diesem Aufzeichnungsintervall wurden fünf zusammenhängende Stunden aus der Nachtphase ausgewählt, da auf diese Weise die Muskulatur in überwiegend ruhender Situation ohne andauernde Willküraktivierung untersucht werden konnte.

Die Ausgangshypothese, dass die Pathophysiologie des Rückenschmerzes mit einer gesteigerten Muskelaktivität in Ruhe in Verbindung steht, konnte mit den durchgeführten Untersuchungen nicht belegt werden.

Die während der Nachtphase durchgeführten elektromyographischen Aufzeichnungen der wirbelsäulennahen Muskulatur zeigten keine elektromyographische Aktivität in Ruhe. Es konnte keine signifikante Relation der EMG-Aktivität zur Schmerzsymptomatik oder dem Bewegungsverhalten der Probanden festgestellt werden.

Dennoch besteht die Hypothese einer Schmerzgenese bei gesteigerter Ruheaktivität des Muskels, da erkrankte oder schmerzende Muskeln spontan erhöhte EMG-Aktivitäten oder eine Hintergrundaktivität aufweisen können (HARTMANN 2003, LAUBE UND MÜLLER 2002). Ein derartig aktiver Ruhe-Muskeltonus und eine damit andauernde Muskelspannung wäre ein wesentlicher Faktor, der aufgrund einer

Kapillarkompression eine Ischämie provoziert (SJOOGARD et al. 1986). Hierin könnte eine Ursache für das Auftreten von Schmerzen zu sehen sein.

In vorliegender Untersuchung wurde die elektromyographische Aktivität der wirbelsäulennahen Muskulatur (Musculus Erector spinae) allerdings nur oberflächlich abgeleitet. Die Erfassung der elektromyographischen Aktivität der tiefer liegenden Intervertebralmuskeln hingegen setzt den Einsatz von Nadelelektroden voraus. Da dies über einen derart langen Zeitraum ( $23 \pm 1$  h) methodisch nicht möglich ist, besteht die Möglichkeit, dass ein veränderter Tonus der tiefer liegenden Rückenmuskulatur in Ruhe nicht erfasst werden konnte.

Vor dem Hintergrund der Thematik „aktiver Ruhetonus“ untersuchten DAVEY et al. (2004) bei Parabelflügen, wie gesteigerte und verminderte Erdanziehungskraft das EMG bei menschlichen Arm- und Rückenmuskeln beeinflusst und bis zu welchem Ausmaße der Motor Cortex für die beobachteten Regulierungen verantwortlich ist. Sie fanden heraus, dass bei Perioden von 0 G die EMG Niveaus und die Gebiete der motorisch ausgelösten Potentiale des Musculus Erector spinae gesteigert waren. Dies legt nahe, dass die Rückenmuskulatur aktiviert wurde, um das axiale Skelett bei fehlender Erdanziehungskraft zu stabilisieren. Weitere Analysen zeigten auf, dass die Schwerelosigkeit die Aktivierung des Musculus Erector spinae durch einen Anstieg der corticospinalen Reizbarkeit initiierte.

Kritisch ist zu der Aussagefähigkeit der Ergebnisse von DAVEY et al. (2004) anzumerken, dass sie auf einer sehr niedrigen Fallzahl ( $n=3$ ) beruht und sie nur eingeschränkt auf Probanden in Bettliegestudien transferierbar ist.

Ein erhöhter Muskeltonus wird im klinischen Alltag sehr häufig diagnostiziert und als Befund dokumentiert. In den meisten Fällen wird er einer innervationsbedingten kontraktiven Spannung zugeordnet. Die Frage, wie der Tonus der paravertebralen Muskulatur bei einem entspannt auf dem Bauch liegenden Patienten zustande kommt, wird hingegen sehr oft ungenau beantwortet. Dabei werden unter anderem Begriffe wie „Grundspannung“, „Ruhetonus“, „Verspannung“, „Hartspann“, „Reflextonus“, „Muskelhypertonus“, „Kontrakturen“, „Myogelosen“ oder „Triggerpunkte“ verwendet. Die beschriebenen Zustände werden meist durch eine reflektorische oder tonisch kontraktionsbedingte Ursache erklärt (Laube und Müller 2002). Dies bedeutet, dass über den entsprechenden Muskeln bzw. Muskelanteilen eine EMG-Aktivität messbar sein müsste. Wird allerdings eine diesbezügliche EMG-Ableitung durchgeführt, sind keine EMG-Signale messbar (MUMMEL et al. 1998, HOWELL et al. 1993, LAUBE 1986). Aufgrund dieser Tatsache scheidet die Genese der Spannung durch Innervation grundsätzlich aus. Die zugrunde liegenden Mecha-

nismen sind weitgehend unklar, eine mögliche Ursache bestünde allerdings in bindegeweblichen Veränderungen des extrazellulären Raumes.

LAUBE und MÜLLER (2002) gehen davon aus, dass der „Muskeltonus“ sowohl eine passive als auch eine aktiv kontraktile Zustandsgröße ist. Durch Inaktivität oder auch Immobilisation werden die Gewebeeigenschaften und die Möglichkeiten der Innervation verändert. Bis zu diesem Zeitpunkt werden die veränderten Muskelfunktionen aber vorwiegend auf die veränderten und modifizierten aktiven kontraktiven Eigenschaften reduziert. Den passiv-mechanischen Eigenschaften der Muskulatur werden kaum Beachtung geschenkt (LAUBE UND MÜLLER 2002).

Mit den vorliegenden Ergebnissen lassen sich keine gezielten Aussagen zu Veränderungen der passiven Eigenschaften der Rückenmuskulatur der Probanden der Bettliegestudie machen.

Festzuhalten bleibt, dass die EMG-Langzeitaufzeichnungen weder zu Beginn, noch unmittelbar nach der Bettliegephase, in der eindeutig die größten Schmerzen aufgetreten sind, Hinweise auf eine Schmerzgenese lieferten. Es konnte kein zugrunde liegender veränderter Ruhetonus nachgewiesen werden. Des Weiteren konnten bei der Differenzierung von schmerzbetroffenen und nicht schmerzbetroffenen Personen weder signifikante Unterschiede aufgezeigt, noch Korrelationen hinsichtlich Schmerzintensität und Änderung der segmentalen Länge und Bewegungsamplitude des Rückens nachgewiesen werden.

Kritisch betrachtet ist es jedoch auch möglich, dass für einen derartigen Nachweis das Signal-Rausch-Verhältnis nicht ausreichend war. Ebenfalls mussten in der Schlafphase relativ wenige und schwache Signale über mehrere Stunden (5 h) in einer nicht annähernd standardisierbaren Aufzeichnungssituation erfasst werden.

Damit einhergehend zeigen auch andere Untersuchungsansätze, die charakteristische Muster der elektromyographischen Aktivität bei Personen mit Rückenschmerzen aufzeigen wollten, keine eindeutigen Ergebnisse (LEHMANN 2002, ROY und ODDSSON 1998, ROY et al. 1990). Die Autoren geben einen Überblick zur Thematik. Dabei wurde versucht, bei standardisierten Muskelkontraktionen über einen kurzen Zeitraum oder durch die Einnahme definierter Körperpositionen, relevante Unterschiede zwischen Personen mit und ohne Rückenschmerzen aufzudecken. LEHMANN (2002) kommt zur Schlussfolgerung, dass EMG-Signale im ruhigen Stand außerordentlich gut reproduzierbar sind. Dabei können aber segmentale Unterschiede hinsichtlich Asymmetrie der EMG-Signale bei problematischen bzw. unproblematischen Segmenten nicht nachgewiesen werden. Damit wird von ihm die diagnostische Validität der Elektromyographie im ruhigen Stehen in Frage gestellt. Des Weiteren scheint eine links-rechtsseitige Amplituden-Asymmetrie nicht unbedingt auf eine Pathologie zu verweisen, sondern sie ist eher ein gemeinsames

Phänomen symptomatischer wie unsymptomatischer Personen. Dahingegen wurden allerdings bei dynamischen Flexionen Unterschiede bei symptomatischen und unsymptomatischen Personen hinsichtlich der Asymmetrie bei der linearen Hüllkurve im unteren Bereich des Musculus Erector spinae gefunden. Die Bedeutung dieser Ergebnisse ist noch unklar. Sie weist jedoch darauf hin, dass eher die Muster der Muskelaktivierung als reine Amplitudenvergleiche zur Klärung der Pathologie beitragen können. ROY und ODDSSON (1998) fordern valide Protokolle und Vorgehensweisen, um eine genaue Klassifizierung paraspinaler Beeinträchtigungen auf der Basis einer oberflächlich abgeleiteten EMG-Diagnostik vornehmen zu können. ROY et al. (1990) versuchten in ihrer Studie zu zeigen, inwieweit die oberflächlich abgeleitete elektromyographische Aktivität des Musculus Erector spinae innerhalb einer Population von Eliteathleten die Personen mit Rückenschmerzen korrekt identifizieren kann. In die Studie waren 23 Ruderer der Boston Universität eingeschlossen, von denen sechs Rückenschmerzen angaben. Den Autoren gelang es auf der Basis der EMG-Spektral Analyse, sowohl die Sportler mit Rückenschmerzen von denen ohne zu differenzieren, als auch die asymmetrisch muskuläre Belastung bei Ruderern aufzuzeigen. ROY et al. waren in der Lage, die Studenten als Backbord- oder Steuerbordrunderer zu identifizieren. Die Parameter der mittleren Frequenz waren hierbei in Verbindung mit Ermüdung und Erholung die diskriminierenden Variablen. Die Autoren verweisen darauf, dass Mehrkanal Elektroden-Konfigurationen besser geeignet sind, um Rückenschmerzen aufzuzeigen, als Konfigurationen, die sich auf wenige Ableitungen verlassen. Dies legt nahe, dass die Rückenstreckmuskulatur nicht adäquat bewertet werden kann, indem man sich auf ein oder zwei Seiten der EMG-Ableitung verlässt. Dies kann unter anderem auch die geringe Reliabilität und die widersprüchlichen Daten vorheriger Untersuchungen erklären, bei denen versucht wurde, die Ermüdung der Rückenmuskulatur über den Einsatz eines oberflächlich abgeleiteten EMGs aufzuzeigen.

Diese Erkenntnisse führen zu der Einsicht, dass weitere Untersuchungen notwendig sind, um valide Protokolle zu entwickeln, die eine Differenzierung von Personen mit und ohne Rückenschmerzen über den Einsatz von Oberflächen-EMGs ermöglichen. Ebenso bedarf es weiterer Untersuchungen hinsichtlich der Veränderung der muskulären Innervation bzw. der Gewebeeigenschaften durch Immobilisation, um den Einfluss der passiv-mechanischen Eigenschaften der Muskulatur als potentiell beitragenden Faktor bei der Ätiologie von Rückenschmerzen zu klären.

#### 4.2.5 Rückenschmerzen und Psyche

Der Einfluss von Rückenschmerzen auf die Psyche (oder umgekehrt: die Einflüsse der psychischen Situation auf das Vorhandensein von Schmerz) ist aktuell nicht monokausal, quantitativ und qualitativ zu belegen. Jedoch kommen immer mehr Autoren zu der Schlussfolgerung, dass die Ätiologie des unspezifischen Rückenschmerzes neben der Einbeziehung der biomechanischen und somatischen Ursachen in einer komplexen Wechselwirkung psycho-physischer Faktoren zu sehen ist (HARTMANN 2003, MARRAS et al. 2000, TILSCHER 1998, SIKORSKI et al. 1996).

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass Probanden von Bettliegestudien relativ extremen psychischen Bedingungen und Stressoren ausgesetzt sind, selbst wenn sie sich diesen freiwillig unterziehen. In diesem Zusammenhang sind z. B. die eingeschränkte Mobilität, Sensorik, fehlendes Tageslicht, Stimulation und Intimsphäre, Monotonie, verstärkte Selbstwahrnehmung, verstärkte fremdbestimmte Situationen sowie Kontrolle von außen anzuführen.

Es ist weiterhin davon auszugehen, dass das Schmerzempfinden und die Schmerzwahrnehmung intraindividuell unterschiedlich stark ausgeprägt sind und dass objektiv gleiche Bedingungen von den einzelnen Probanden unterschiedlich wahrgenommen und bewertet sowie individuell bewältigt werden. Auch wenn die Probanden vor Beginn der Studie psychologischen Tests unterzogen wurden, ist weiterhin von einer heterogenen Grundkonstitution der psychischen Voraussetzungen auszugehen. Mit Hilfe der angewandten diagnostischen Verfahren konnte das Ausmaß und die Folgen der psychischen Bedingungen auf das Vorhandensein von Schmerz jedoch weder qualitativ noch quantitativ beurteilt werden.

In vorangegangenen Bettliegestudien wurde festgestellt, dass die Immobilisation im Bett psychischen Stress induzierte. Neben der Erfassung depressiver Stimmungen über Fragebögen (STYF et al. 2001) sowie Untersuchungen zur Ausscheidung von 17-Hydroxycorticosteroid über den Urin (ISHIZAKI 1997) konnten Tendenzen von Neurosen festgestellt werden.

Zwischenmenschliche Beziehungen in Isolation und Zwangssituationen am Beispiel einer Bettliegestudie mit 6°-Kopftieflage wurden von WEISS und MOSER (1998) untersucht. Die beiden Autoren schlussfolgern, dass unterschiedliche Modalitäten der zwischenmenschlichen Beziehungen und nicht ausschließlich verbale Interaktion eine signifikante Rolle bei der Adaptation an stressige Situationen spielten.

Die zwischenmenschlichen Beziehungen der Probanden der LTBR-2001-2002 könnten ebenso signifikanten Einfluss auf die psychische Situation der Studienteilnehmer gehabt haben.

ISHIZAKI et al. (2002) werteten Veränderungen beim Stimmungszustand und den depressiven und neurotischen Niveaus bei 9 jungen Freiwilligen aus, die sich einer 6°-Kopftieflage über 20 Tage unterzogen. Des Weiteren wurde untersucht, inwieweit Krafttraining diese Veränderungen modifizierte. Die depressiven und neurotischen Niveaus waren während der Bettliegephase gesteigert. Das im Rahmen der Studie durchgeführte isometrische Krafttraining konnte die Beeinträchtigung des mentalen Status durch die Zwangssituation und Isolierung von der familiären Umgebung nicht verhindern.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, inwieweit das Mobilisationsprogramm dazu beigetragen hat, die psychische Situation der Probanden der Bettliegestudie zu beeinflussen.

Im Rahmen der Entwicklung und Etablierung von Leitlinien zur Rückenschmerzbehandlung (HILDEBRANDT 2005) haben sich mehrere Gruppen ausführlich mit der Effektivität gerätegestützter physikalischer Therapien bei Rückenschmerzen befasst. Ihre Ergebnisse zeigen eindeutig auf, dass körperlich aktivierende Behandlungsverfahren erfolgreich sind. Gleichzeitig wird aber auch aufgezeigt, dass die tatsächlichen Verbesserungen nicht mit einer spezifischen körperlichen Veränderung wie Kraft, Beweglichkeit oder Ausdauer korrelieren. Verdeutlicht wird dies unter anderem an einer Studie von MANNION et al. (2001). Sie untersuchten nach einem körperlichen Aktivierungsprogramm für Rückenschmerzpatienten Erfolgskriterien wie „Reduzierung der Schmerzintensität“ und „Verringerung des Beeinträchtigungserlebens“ und teilten die Patienten daraufhin in vier verschiedene Erfolgsgruppen ein. Im Anschluss daran wurde die Verteilung der Zunahme an Rumpfkraft in den Gruppen untersucht. Es gab vergleichbare Zunahmen an Kraft bei allen Gruppen. Im Anschluss daran wurde untersucht, wie sich die Veränderung der Angst-Vermeidungs-Überzeugungen auf die einzelnen Erfolgsgruppen verteilen ließ. Hierbei wurde eindeutig festgestellt, dass die Personen mit der größten Reduktion der Angst-Vermeidungs-Einstellung auch die besten Behandlungsergebnisse aufweisen konnten. PFINGSTEN et al. (2001) und PFINGSTEN (2005) konnten diese Ergebnisse in eigenen Studien bestätigen. Dies belegt, dass der Erfolg körperlich aktivierender Therapien bei Rückenschmerzpatienten in einem erheblichen Maße mit einer Veränderung „kognitiver Mechanismen“ zu erklären ist. Hierbei wird die mittels Bewegungserfahrung gelöschte Verbindung von Bewegung

bzw. Belastung einerseits und dem empfundenen Rückenschmerz andererseits betont.

Auf die Ergebnisse der vorliegenden Studie konnten die Überlegungen von PFINGSTEN (2005) nicht einheitlich übertragen werden:

Lediglich die Teilnehmer aus der Mobilisationsgruppe blieben ab dem achten Tag der Bettliegephase bis nach Wiederaufnahme der körperlichen Aktivität nahezu schmerzfrei. In diesem Zusammenhang ist festzuhalten, dass das Mobilitätsprogramm von den Teilnehmern dieser Gruppe als angenehm, der Schmerzprävention dienenden Maßnahme gewertet wurde (kognitiver Aspekt).

Die Teilnehmer aus der Trainingsgruppe (Krafttraining an der Beinpresse) klagten hingegen durchweg über Rückenschmerzen. Diese Maßnahme wurde von den Probanden als nicht angenehm empfunden.

Die Teilnehmer der Kontrollgruppe (also die inaktiven Probanden) waren immerhin ab dem achten Tag bis zur Wiederaufnahme der körperlichen Aktivität schmerzfrei.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Probanden einer Bettliegestudie psychischen Stressoren ausgesetzt sind. Jedoch ist aus heutiger Sicht keine Aussage darüber zu treffen, inwieweit

- Quantität, Qualität und Lokalisation der Rückenschmerzen dadurch beeinflusst werden und
- körperliche Aktivitäten und ihre psychischen Folgen das Auftreten von Rückenschmerzen modifizieren.

### 4.3 Aufgetretene Rückenschmerzen beim Übergang von Immobilität zu „normaler Aktivität“

Bei bisherigen Studien (STYF et al. 2001, BAUM UND EBFELD 1999, STYF et al. 1997, HUTCHINSON et al. 1995) traten die meisten und größten Rückenschmerzen in den ersten Tagen der Bettliegephase aus. Als konträr hierzu konnte in der LTBR-Studie 2001-2002 die Schmerzsymptomatik direkt im Anschluss an die Liegephase festgehalten werden.

Dabei hatten die Probanden der Mobilisationsgruppe, die während der Liegephase mehrmals täglich das präventive Rückenprogramm durchführten, signifikant weniger und geringere Schmerzen, als die Teilnehmer der beiden anderen Gruppen.

Dies zeigt, dass die Probanden dieser Gruppe wesentlich besser auf die Rückkehr zu „normaler körperlicher Aktivität“ und die sprunghafte Veränderung des Belastungs- und Bewegungsniveaus vorbereitet waren.

Nach der Liegephase kann Muskelkater als Schmerzursache und Folge des Aufstehens nicht ausgeschlossen werden. Das Delay des beschwerdefreien Intervalls bei Muskelkater von 12-24 Stunden, welches in der Literatur übereinstimmend nachgewiesen wurde (ENDO et al. 2005, PROSKE und MORGAN 2001, NOSAKA et al. 2001, MACINTYRE et al. 1995, NURENBERG et al. 1992, SMITH 1991, JONES et al. 1989, NEWHAM et al. 1988, NEWHAM et al. 1987), kann in dieser Studie nicht ausgeschlossen werden, da die Studienteilnehmer erst 24 Stunden nach dem Aufstehen rückwirkend zur Schmerzsymptomatik des vorangegangenen Tages befragt wurden.

Zu diesem Zeitpunkt wurden die Schmerzen der Probanden auch nicht mehr ausdrücklich auf den lumbalen Part der Wirbelsäule reduziert. Die meisten Teilnehmer gaben auch Schmerzen im Bereich der unteren Extremität und vor allem an den Fußsohlen an. Inwieweit dies die Bewertung der Intensität und Qualität der Rückenschmerzen überlagerte und beeinflusste, bleibt aber rein hypothetisch.

FITTS et al. (2001) versuchten in ihrer Studie, die Haupteffekte der Weltraumfahrt auf die Skelettmuskulatur zusammenzufassen. Dabei stellen Läsionen nach einem Weltraumaufenthalt eine große Beeinträchtigung dar. Gegenwärtig liegen für Astronauten noch keine belegenden Daten vor.

Studien an Ratten hingegen haben gezeigt, dass die aufgetretenen Läsionen durch die Wiederbelastung nach dem Weltraumaufenthalt verursacht wurden (RILEY et al. 1996). Die Läsionen waren vergleichbar mit denen, wie sie bei exzentrischen Kontraktionen beobachtet werden. Die Ätiologie der gesteigerten Sensitivität gegenüber Zellschäden nach dem Aufenthalt in der Schwerelosigkeit ist unbekannt. Sie könnte unter gegebenen Bedingungen jedoch durch eine Zellatrophie und reduziertem Aktin-Gehalt und/oder einem selektiven Verlust anderer Proteine wie Titin, Desmin und Dystrophin verursacht werden (FITTS et al. 2001). Muskelkater als Folge der Wiederbelastung nach der 90tägigen Immobilisation kann und darf somit nicht ausgeschlossen werden. Besonders vor dem Hintergrund, dass die Probanden nach dem Aufstehen aufgrund der atrophierten Muskulatur, vor allem im Bereich der unteren Extremität, Probleme hatten, sich selbständig auf den Beinen zu halten.

Des Weiteren betonen die aufgetretenen Schmerzen direkt nach Ende der Bettliegephase wiederum den Einfluss des veränderten Belastungs- bzw. Bewe-

gungsniveaus als potentiellen Faktor bei der Ätiologie der aufgezeigten Schmerzen.

#### 4.4 Das Mobilisationsprogramm zur Linderung und Verhinderung von Rückenschmerzen

Das Mobilisationsprogramm setzte sich aus kräftigenden, mobilisierenden und dehrenden Komponenten zusammen. Die einzelnen Bewegungen wurden langsam und mit maximal möglicher Amplitude durchgeführt. Schwerpunkte lagen dabei auf der Mobilisierung der Wirbelsäule, der Dehnung des paravertebralen Gewebes und dem Entgegenwirken der Instabilität des gesamten Systems. Die Steuerung der Intensität war den Probanden selbst überlassen. Die Qualität und Quantität der Ausführungen wurde regelmäßig kontrolliert und von den Probanden eigens protokolliert. Insgesamt wurde das Bewegungsprogramm subjektiv als angenehm empfunden und nahm nicht mehr als 20 Minuten pro Tag in Anspruch. Durch das tägliche Rückenschmerzpräventionsprogramm war die Mobilisationsgruppe dazu angehalten, sich täglich mindestens über fünf Mal vier Minuten in allen drei Ebenen zu bewegen. Die Trainingsgruppe führte ebenfalls alle zwei bis drei Tage ihr Training an der Beinpresse durch und mobilisierte in diesem Falle vor allem die untere Extremität. Diese hatte jedoch - aus bereits oben beschriebenen Gründen - über den gesamten Zeitraum der Liegephase und direkt nach dem Aufstehen Rückenschmerzen.

Das präventive Rückenprogramm der Mobilisationsgruppe konnte die Rückenschmerzen zu Beginn der Liegephase nicht verhindern. Es gab keine signifikanten Unterschiede zu den anderen beiden Gruppen. Allerdings bleibt auch festzuhalten, dass die Probanden der Mobilisationsgruppe zwar ein bis zwei Tage vor der Liegephase mit dem Programm vertraut gemacht wurden, dieses aber erst am ersten Liegetag einsetzte.

Unmittelbar nach Beendigung der Liegephase verhinderte das Programm das Auftreten der Schmerzen nahezu vollständig.

Darüber hinaus verbesserte das Mobilisationsprogramm die Wirbelsäulenbeweglichkeit im thorakalen Bereich und verhinderte einen Rückgang der Beweglichkeit im lumbalen Abschnitt der Wirbelsäule.

Aufgrund der Tatsache, dass das Programm der Mobilisationsgruppe die Schmerzen direkt im Anschluss an die Bettliegephase minderte, besteht die Möglichkeit

eines schmerzpräventiven Einflusses zu Beginn der Liegephase. Dafür hätten die Probanden aber möglicherweise rechtzeitig in der Vorbereitungsphase mit der Durchführung beginnen müssen. Diese Annahme ist nicht belegbar, rechtfertigt jedoch weitere diesbezügliche Untersuchungen.

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Befunde bleibt die Ursache der bewegungsbedingten Schmerzminderung bzw. Schmerzprävention in der Wiederherstellungsphase durch das Rückenmobilisationsprogramm zu diskutieren. Das von BAUM und EBFELD eingesetzte Mobilisationsprogramm führte durch eine Kombination mehrerer Faktoren eindeutig zu einer Reduktion der Schmerzsymptomatik. Durch die tägliche Vorgabe der Übungen wurde eine Entlastung der Wirbelsäule verhindert. Es wurden große Bewegungsamplituden ohne den gleichzeitigen Einsatz hoher Kräfte durchgeführt. Diese sind bei der Immobilisation im Bett sonst eher eingeschränkt.

Daneben könnte über die dehnende Komponente des gewählten Programms ein potentiell schmerzmindernder Effekt in einer Erhöhung der Schmerzschwelle erreicht worden sein. Unter gegebenen Umständen hätte dies dazu beigetragen, dass größere Bewegungsamplituden ohne Schmerzen durchgeführt werden konnten. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen der Studie. Denn das Mobilisationsprogramm verbesserte die Flexibilität der Probanden im Vergleich zum Ausgangsniveau vor der Liegephase. Dahingegen verloren die beiden anderen Gruppen an Beweglichkeit im thorakalen und lumbalen Abschnitt der Wirbelsäule, was sich mit Rückenschmerzen überlagerte.

Neben einer Erhöhung der Schmerzschwelle kann auch eine Veränderung der Schmerzursache durch Dehnen angenommen werden. Es ist jedoch fraglich, inwieweit dies differenziert werden kann.

Den Einfluss von Dehnen auf das Auftreten von Verletzungen mit entsprechenden Schmerzen untersuchten die Autoren AMAKO et al. (2003). In ihrer Studie betrachteten sie den präventiven Effekt statischen Dehnens bezüglich trainingsinduzierter Verletzungen bei japanischen Rekruten. Zwischen 1996 und 1998 nahmen 901 Personen an dieser Untersuchung teil. Davon wurden 518 Rekruten einer Stretchinggruppe zugewiesen, die vor und nach den körperlichen Trainingseinheiten ein statisches Dehnprogramm durchführten. Die Kontrollprobanden (n=383) dehnten hingegen vor den Trainingseinheiten nicht. Das Mobilisationsprogramm bestand aus 18 Übungen für die untere und obere Extremität. Während der gesamten drei Jahre wurden die Daten der medizinischen Aufzeichnungen gesammelt. Die gesamte Verletzungshäufigkeit zwischen den beiden Gruppen

war nahezu identisch. Dabei waren das Auftreten von Muskel- und Sehnenschmerzen sowie akute Rückenschmerzen in der Stretchinggruppe signifikant geringer. Somit verringerte das statische Dehnen das Risiko für muskulär bedingte Verletzungen, konnte allerdings Knochen- und Gelenksverletzungen nicht verhindern. Vor diesem Hintergrund verhinderte möglicherweise das eingesetzte Mobilisationsprogramm mit seiner dehnenden Komponente das Auftreten muskulär bedingter Rückenschmerzen nach der Liegephase.

Als ein weiterer schmerzmindernder Effekt ist die mechanische Belastung bei der Übungsausführung denkbar, die dem während der Immobilisation konstant reduzierten axialen Druck entgegenwirkt und damit Gewebefunktionen oder die Regulierung von Schmerzrezeptoren bzw. Schmerzperzeption beeinflusst. Durch die großen Amplituden wurden Zwangshaltungen verhindert und das Einnehmen der Föetalposition, das nach BAUM und EBFELD (1999) schmerzlindernd ist, gefördert. Gleichzeitig wird durch die mehrmals täglich durchgeführte Bewegungsaufgabe die Hyperlordose aufgelöst.

Festzuhalten bleibt, dass das kostengünstige und zeitlich nicht aufwendige Mobilisationsprogramm die Schmerzen nach der Liegephase verringert hat. Diese Ergebnisse tragen jedoch nicht dazu bei, die Ursache/n genauer zu spezifizieren.

## 5 Zusammenfassung

Gegenstand dieser Arbeit war die Validierung eines Mobilisationsprogramms zur Linderung bzw. Verhinderung von Rückenschmerzen sowie die Untersuchung der Entstehung von Rückenschmerzen, wie sie z. B. im Rahmen von Schwerelosigkeit oder simulierter Schwerelosigkeit bei Bettliegestudien auftreten.

Die Teilstudie „Backpain“ war integriert in die „Long-term-bed-rest-study 2001-2002“ (NASDA-CNES-ESA Studie). Die Untersuchungen des Projektes fanden im Rahmen von zwei 90tägigen Bettliegephasen statt, die in der „Weltraumklinik“ MEDES-IMPS in Toulouse (Frankreich) durchgeführt wurden. Die Grundidee der Studie basierte auf einer 6°-Kopftieflage der Probanden, um die Bedingungen unter Schwerelosigkeit zu simulieren.

Mit einer entsprechenden Vorlaufzeit wurden für die Studie 25 Probanden gesucht, die nach einem gezielten Bewerbungs- und Selektionsverfahren ausgewählt wurden. Mit einer Ausnahme waren alle Probanden französischer Nationalität. Die Studie wurde von keinem der Probanden frühzeitig abgebrochen.

Die Teilnehmer wurden durch das medizinische und psychologische Team, das die Probanden die gesamte Studie hindurch betreute, einer von drei Gruppen zugeteilt. Die Trainingsgruppe (n=9) trainierte während der Bettliegephase drei Mal pro Woche die untere Extremität an einer speziell entwickelten Beinpresse. Diese Maßnahme wurde eingesetzt, um den Einfluss des Krafttrainings auf Knochen- und Muskelmasseabbau zu verfolgen. Die Kontrollgruppe (n=9) wurde während der Bettliegephase keinem Aktivitätsprogramm unterzogen und sollte Referenzdaten liefern. Die Mobilisationsgruppe (n=7) führte das präventive Rückenmobilisationsprogramm durch. Das zu validierende Bewegungsprogramm bestand aus langsamen Rückenbewegungen in allen drei Ebenen mit großen Amplituden. Es wurde fünfmal täglich durchgeführt. Dieses dauerte jeweils vier Minuten und wurde von den Probanden als angenehm empfunden. Die Durchführung mit jeweils zwei bis drei Stunden Pause zwischen den einzelnen Einheiten wurde selbstständig protokolliert und regelmäßig kontrolliert.

Darüber hinaus wurde bei allen Studienteilnehmer an insgesamt zwölf Tagen vor (drei Zeitpunkte in der Vorbereitungsphase) während (sieben Zeitpunkte in der Liegephase) und nach (zwei Zeitpunkte in der Erholungsphase) der Liegephase die Wirbelsäulengeometrie des Rückens mittels Ultraschall sowie die elektromyographische Aktivität der wirbelsäulennahen Muskulatur erfasst. Neben der Erfassung der physiologischen Parameter wurden die Teilnehmer mittels Fragebögen vor und nach sowie während der gesamten Bettliegephase hinsichtlich ihrer Rückenschmerzsymptomatik befragt.

Bei nahezu allen Teilnehmern traten Rückenschmerzen auf. Sie wurden fast ausschließlich im lumbalen Part deutlich rechts und links versetzt der Wirbelsäule lokalisiert und als dumpf beschrieben. Bis auf eine Ausnahme zeigten die Probanden keine radikuläre Symptomatik. Die Schmerzen waren mit reduzierten Bewegungsamplituden im lumbalen Wirbelsäulensegment sowie einer vergrößerten thorakalen und tendenziell verkleinerten lumbalen Wirbelsäulenlänge verbunden. Die größten Schmerzen traten zu Beginn der Liegephase auf. Des Weiteren traten bei den Probanden der Kontroll- und Krafttrainingsgruppe wiederum direkt am ersten Tag nach dem Ende der 90tägigen Liegephase verstärkt Schmerzen auf. Zwischen der Schmerzintensität und dem Bewegungsverhalten, den Längenänderungen sowie der Flexibilität der Probanden konnten keine signifikanten interindividuellen Unterschiede festgestellt werden. Die Probanden der Kontroll- und Mobilisationsgruppe waren ab dem achten Tag der Liegephase schmerzfrei. Dies gilt nicht für die Teilnehmer der Krafttrainingsgruppe, die während der gesamten Liegephase ein besonderes Schmerzmuster zeigten. Dieses war eher den biomechanischen Bedingungen des Trainingsgerätes zuzuschreiben, als der bettlicheabhängigen Bewegungsreduktion und der Minderbelastung.

Die elektromyographischen Langzeitaufnahmen der wirbelsäulennahen Rückenmuskulatur konnten die Hypothese nicht belegen, dass der Schmerz durch eine aktive Tonuserhöhung der Muskulatur zustande kam.

Des Weiteren konnte mit dem Untersuchungsansatz auch nicht gezeigt werden, inwieweit sich die „passiven Struktureigenschaften“ der Muskulatur durch die Immobilisation im Bett verändert haben.

Das gewählte Mobilisationsprogramm des Rückens konnte den Schmerz während der ersten Liegetage nicht mindern. Dafür verhinderte es signifikant das Auftreten von Rückenschmerzen nach der Liegephase. Darüber hinaus verbesserte das Bewegungsprogramm die Flexibilität im thorakalen Bereich und verhinderte eine Verschlechterung im lumbalen Bereich der Wirbelsäule. Der schmerzpräventive Effekt, der direkt im Anschluss an die Liegephase deutlich wurde, führt zu der Annahme, dass eine Maßnahme, die direkt zu Beginn der Minderbelastung in der Bettliegephase wirksam werden soll, rechtzeitig vorher einsetzen müsste.

Die im Rahmen der Studie erzielten Ergebnisse bestätigen die Erkenntnis, dass Minderbelastung und Bewegungsreduktion an der Schmerzentwicklung beteiligt sind. Des Weiteren geben sie Aufschluss darüber, dass bei Rückenschmerzen die Entlastung der Wirbelsäule durch eine entsprechende Körperpositionierung, wenn überhaupt maximal, als kurzfristige therapeutische Maßnahme eingesetzt werden

sollte. Die Ergebnisse verdeutlichen ebenso, dass als präventive und lindernde Maßnahmen nicht unbedingt kostenintensive multimodale Programme erforderlich sind. Vielmehr zeigen sie, dass ein dosiertes und funktionelles Bewegungsprogramm eine wirksame und vor allem kostengünstige Maßnahme darstellen kann, um einer bestimmten Rückenschmerzsymptomatik entgegenzuwirken. Voraussetzung für den Erfolg einer solchen Maßnahme ist, dass sie sorgfältig, rechtzeitig und v. a. regelmäßig durchgeführt wird.

Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse ist es sinnvoll, weitere effektive, präventive und schmerzlindernde Bewegungsprogramme zu entwickeln, um die Zivilisationserkrankung „Rückenschmerzen“ mit ihren enormen finanziellen Belastungen für das soziale Gesundheitssystem einzudämmen und, um den betroffenen Personen einen wichtigen Baustein ihrer Lebensqualität zu erhalten oder zurückzugeben.

## Literaturverzeichnis

- Ahmed M, Bjurholm A, Kreicbergs A, Schultzberg M** (1993) *Neuropeptide Y, tyrosylite Hydroxylase and vasoactive intestinal polypeptide immunoreactive nerv fibres in the vertebral bodies, discs, dura mater, and spinal-ligaments of the rat lumbar spine.* Spine 18: 268-273
- Ala-Kokko L** (2002) *Genetic risk factors of lumbar disc disease.* Ann Med 34 (1): 42-47
- Amako M, Oda T, Masuoka K, Yokoi H, Campisi P** (2003) *Effect of static stretching on prevention of injuries for military recruits.* Mil Med 168 (69): 442-446
- Anderson GBJ** (1997) *The epidemiology of spinal disorders.* In: Frymoyer JW (Eds): The Adult Spine: Principles and Practice, Lippincott-Raven, Philadelphia, 93-141
- Aronoff GM, Feldmann JB, Campion TS** (2000) *Management of chronic pain and control of long-term disability.* Occupational Medicine 15: 755-770
- Asher RAJ** (1947) *The dangers of going to bed.* British Medical Journal: 967-968
- Astrand PO, Rodahl K** (1986) *Textbook of Work Physiology. 3rd ed.* New York, McGraw-Hill, 1986
- Battie MC, Videman T, Gibbons LE, Fisher LD, Manninen, Gill K** (1995) *Determinants of lumbar disc degeneration. A study relating lifetime exposures and magnetic resonance imaging (MRI) findings in identical twins.* Spine 20: 2601-2612
- Baum K, Eßfeld D** (1999) *Origin of Back Pain during Bedrest: A new Hypothesis.* Eur J Med Res 4: 389-393
- Baum K, Hoy S, Eßfeld D** (1997) *Continuous monitoring of spine geometry: A new approach to study Back Pain in space.* Int J Sports Med 18: 331-333
- Baum K, Selle K, Leyk D, Eßfeld D** (1995) *Comparison of blood pressure and heart rate responses to isometric exercise and passive muscle stretch in humans.* Eur J Appl Physiol 70: 240-245
- Bernard BP** (1997) *Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors.* U.S Department of Health and Human Services. Public Health Services. Centers for Disease Control and Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health. Cincinnati
- Bigos S, Bowyer OR, Brown K, Deyo R, Haldemann S, Hart IL, Johnson EW, Keller R, Kido D, Liang MH, Nelson RM, Nordin M, Owen BD, Pope MH, Schwartz R** (1994) *Acute low back problems in Adults.* Rockville
- Blech J** (2006) *Fit wie in der Steinzeit.* Der Spiegel Nr. 5: 145
- Bogduk N** (1983) *The innervation of the lumbar spine.* Spine 8: 286-293

- Bolten W, Kempel-Waibel A, Pfürringer W** (1998) *Analyse der Krankheitskosten bei Rückenschmerzen*. Medizinische Klinik 93, 6: 388-393
- Booth FW, Gollnick PD** (1983) *Effects of disuse on the structure and function of skeletal muscle*. Med Sci Sports Exerc 15: 415-420
- Bowman K, Hellsten G, Bruce A et al.** (1994) *Endurance physical activity, diet and fibrinolysis*. Atherosclerosis 196: 65-74
- Buirski G, Silberstein M** (1993) *The symptomatic lumbar disc in patients with low back pain: magnetic resonance imaging appearances in both a symptomatic and control population*. Spine 18: 1808-1811
- Burdorf A, Govaert G, Elders L** (1991) *Postural load and Back Pain of workers in the manufacturing of prefabricated concrete elements*. Ergonomics 34: 909-918
- Burton AK** (1997) *Back injury and work loss: Biomechanical and psychosocial influences*. Spine 22: 2575-2580
- Chair SY, Taylor-Piliae RE, Lam G, Chan S** (2003) *Effect of positioning on Back Pain after coronary angiography*. J Adv Nurs 42 (5): 470-478
- Chan D, Song Y, Sham P, Cheung KM** (2006) *Genetics of disc degeneration*. Eur Spine Jul 4
- Cohen SP, Larkin TM, Barna SA, Palmer WE, Hecht AC, Stojanovic MP** (2005) *Lumbar discography: a comprehensive review of outcome studies, diagnostic accuracy and principles*. Reg Anest Pain Med. 30 (2): 163-183
- Coyle EF, Hemmert MK, Coggan E** (1985) *Effects of detraining on cardiovascular responses to exercise: Role of blood volume*. J Appl Physiol 60: 95-99
- Davey NJ, Rawlinson SR, Nowicky AV, McGregor AH, Dubois K, Strutton PH, Schroter RC** (2004) *Human corticospinal Excitability in Microgravity and Hypergravity during parabolic Flight*. Aviat Space Environ Med 75: 359-363
- Day JW, Smidt GL, Lehmann T** (1984) *Effect of pelvic tilt on standing posture*. Phys Ther 64: 510-516
- Donelson R** (2004) *Evidenced-based low Back Pain classification. Improving care as its foundation*. Eura Medicophys 40 (1): 37-44
- Eichelberger L, Roma M, Moulder PV** (1958) *Effects of immobilization on the histochemical characterization of skeletal muscle*. J Appl Physiol 12: 42-47
- Endoh T, Nakajima T, Sakamoto M, Komiyama T** (2005) *Effects of muscle damage induced by eccentric exercise on muscle fatigue*. Med Sci Sports Exerc 37 (7): 1151-1156

- Evcik D, Yücel A** (2003) *Lumbar Lordosis in acute an chronic low Back Pain Patients.* Rheumatol Int 23: 163-165
- Fischer GC, Kuhlmeiy A, Lauterbach KW, Rosenbrock R, Schwartz FW, Scriba P, Wille E** (2001) *Band III - Über-, Unter- und Fehlversorgung.* Bonn
- Fitts RH, Riley DR, Widrick JJ** (2001) *Functional and structural adaptations of sceletal muscle to microgravity.* J Exp Biol 204 (Pt 18): 3201-3208
- Fowlow B, Price P, Fung T** (1995) *Ambulation after sheat removal: a comparison of 6 and 8 hours of Bedrest after sheat removal in patients following a PTCA procedure.* Heart and Lung 24: 28-37
- Frank JW, Kerr MS; Brooker A, DeMaio SE, Maetzel A, Shannon HS, Sullivan TJ; Norman RW, Wells RP** (1996) *Disability resulting from occupational low Back Pain - Part 1: What do we know about primary prevention? A review of the scientific evidence on prevention before disability begins.* Spine 21; 24: 2908-2917
- Franzkowiak F** (1999) *Leitbegriffe der Gesundheitsförderung. 2. Auflage* Verlag Peter Sabo Schwabenheim
- Galen B** (1999) *Diagnostic imaging: an overview.* Lippincotts Prim Care Pract 3 (5): 461-475
- Gandjour A, Telzerow A, Lauterbach KW** (2005) *European comparisons of costs and quality in the treatment of acute Back Pain.* Spine 15; 30 (8): 969-975
- Gatchel RJ, Gardea MA** (1999) *Psychosocial issues: their importance in predicting disability, response to treatment and research for compensation.* In: Haldemann S (Hrsg): Neurologic Clinics - Lower Back Pain, 17. Philadelphia: W.B. Saunders Company, 149-166
- Gerbershagen HU, Nagel B, Korb J, Nilges P** (2001) *Das Mainzer Stadienmodell.* Der Schmerz 15, 6: 512-517
- Gilbert JR, Taylor DW, Hildebrand A et al.** (1985) *Clinical trial of common treatments for low Back Pain in family practice.* BMJ 291: 789-794
- Göbel H** (2001) *Epidemiologie und Kosten chronischer Schmerzen.* Der Schmerz 2: 92-98
- Goldberg MS, Scott SC; Mayo NE** (2000) *A review of the association between cigarette smoking and the development of nonspecific Back Pain related outcomes.* Spine 25 (8): 995-1014
- Gulanick M, Bliley A, Perino B, Keough V** (1997) *Patients' response to the angioplasty experience: a qualitative study.* American Journal of Critical Care 6: 25-32

- Halar EM, Bell K** (1988) *Contracture and other effects of immobility*. In: DeLisa (Hrsg): Rehabilitation Medicine. Philadelphia, JB Lippincott: 448-462
- Haldemann S** (1999) *Low Back Pain: Current physiologic Concepts*. Neurol Clin 17: 1-15
- Hamaoui A, Do MC, Bouisset S** (2004) *Postural sway increase in low Back Pain subjects is not related to reduced spine range of motion*. Neurosci Lett 357 (2): 135-138
- Harrison DD, Calliet R, Janik TJ, Troyanovich SJ, Harrison DE, Holland B** (1998) *Elliptical modelling of the sagittal lumbar lordosis and segmental rotation angles as a method to discriminate between normal and low Back Pain subjects*. J Spinal Disord 11: 430-439
- Hartmann B** (2003) *Rückenschmerzen am Arbeitsplatz - Ursachen und Konsequenzen für den Betriebsarzt*. Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 38: 566-575
- Hayden JA, van Tulder MW, Malmivaara AV, Koes BW** (2005) *Meta-analysis: exercise therapy for nonspecific low Back Pain*. Ann Intern Med 3; 142 (9): 765-775
- Hendriksson J, Reitman JS** (1977) *Time course of changes in human skeletal muscle succinic dehydrogenase and cytochrome oxidase activities and maximal oxygen uptake with physical activity and inactivity*. Acta Physiol Scand 99: 91-97
- Hestbaek L, Leboeuf-Yde C, Manniche C** (2003) *Low Back Pain: what is the long-term course? A review of studies of general patient populations*. European Spine Journal 12: 149-165
- Hilde G, Bo K** (1998) *Effect of exercise in the treatment of chronic low Back Pain: a systematic review, emphasizing type and dose of exercise*. Phys. Ther. Rev. 3: 107-117
- Hildebrandt J** (2004) *Does unspecific low Back Pain really exist? Z Orthop Ihre Grenzgeb* 142 (2): 139-145
- Hildebrandt J** (2005) *Paradigmenwechsel im Umgang mit dem Rückenschmerz - Konsequenzen für bewegungstherapeutische Interventionen*. Bewegungstherapie und Gesundheitssport 21: 146-151
- Holmström E** (1992) *Musculoskeletal disorders in construction workers*. Doctoral dissertation. Sweden: Lund University, Department of Physical Therapy
- Hoogendoorn WE, van Poppel MNM, Bongers PM, Koes BW, Bouter LM** (2000) *Systematic review of psychosocial factors at work and in private life as risk factors for Back Pain*. Spine 25: 2114-2125

- Horton WC, Daftari TK** (1992) *Which disc as visualized by magnetic resonance imaging is actually a source of pain?: a correlation between magnetic resonance imaging and discography.* Spine 17 (Suppl): 164-171
- Howell JN, Chleboun G, Conaster R** (1993) *Muscle stiffness, strength loss, swelling and soreness following exercise-induced injury in humans.* J Physiol 464: 183-196
- Hutchinson KJ, Watenpaugh DE, Murthy G, Convertino VA, Hargens AR** (1995) *Back Pain during 6 ° Head-Down tilt approximates that during actual Microgravity.* Aviat Space and Environ Med 66: 256-259
- Hutton WC, Malko JA, Fajman WA** (2003) *Lumbar Disc Volume measured by MRI: Effects of Bedrest, horizontal Exercise and vertical Loading.* Aviat Space Environ Med 74: 73-78
- Hyodo H, Sato T, Sasaki H, Tanaka Y** (2005) *Discogenic pain in acute nonspecific low-Back Pain.* Eur Spine J 14 (6): 573-577
- Iatridis JC, Mente PL, Stokes IA et al.** (1999) *Compression induced changes in a rat tail modell.* Spine 24: 996-1002
- Ishizaki Y, Fukuoka H, Ishizaki T, Katsura T, Nishimura Y, Haruna M, Suzuki Y, Kawakubo K, Gunji A** (1997) *Psychological stress induced by 20 days bed rest.* J Gravit Physiol 4 (1): 95-98
- Ishizaki Y, Ishizaki T, Fukuoka H, Kim CS, Fujita M, Maegawa Y, Fujioka H, Katsura T, Suzuki y, Gunji A** (2002) *Changes in mood status and neurotic levels during a 20-day bed rest.* Acta Astronaut 50 (7): 453-459
- Ito M, Incorvaia KM, Yu SF et al.** (1998) *Predictive signs of discogenic lumbar spine on magnetic resonance imaging with discography correlation.* Spine 23: 1252-1260
- Jensen MC, Brant-Zawadzki MN, Obuchowski N, Modic MT, Malkasian D, Ross JS** (1994) *Magnetic resonance imaging of the lumbar spine in people without Back Pain.* N Engl J Med 331: 69-73
- Jones DA, Newham DJ, Torgan C** (1989) *Mechanical influences on long-lasting human muscle fatigue and delayed-onset pain.* J Physiol 412: 415-427
- Kershner D, Binhammer R** (2004) *Intrathecal Ligaments and Nerve Root Tension: Possible Sources of lumbar Pain during Spaceflight.* Aviat Space Environ Med 75: 354-358
- Klaussen K Andersen LB, Pelle I** (1981) *Adaptive changes in work capacity, sceletal muscle capillarization and enzyme levels during training and detraining.* Acta Physiol Scand 113: 9-16

- Kohlmann T, Schmidt CO** (2004) *Epidemiologie und Sozialmedizin*. In: Hildebrandt J, Pflingsten M, Müller G (Hrsg): Lendenwirbelsäule. München: Urban und Fischer, 3-13
- Kojima Y, Maeda T, Arai R, Shichikawa K** (1990 a) *Nerve supply to the posterior longitudinal ligament and the intervertebral disc of the rat vertebral column as studied by acetylcholinesterase histochemistry. I. Distribution in the lumbar region*. J Anat 169: 237-246
- Kojima Y, Maeda T, Arai R, Shichikawa K** (1990 b) *Nerve supply to the posterior longitudinal ligament and the intervertebral disc of the rat vertebral column as studied by acetylcholinesterase histochemistry. II. Regional differences in the distribution of the nerve fibres and their origins*. J Anat 169: 247-255
- Konttinen YT, Gronblad M, Antti-Poika I et al.** (1990) *Neuroimmunohistochemical analysis of peridiscal nociceptive neural elements*. Spine 15: 383-386
- Köstermeyer G, Abu-Omar K, Rütten A** (2005) *Rückenkraft, Fitness und körperliche Aktivität - Risiko oder Schutz vor Rückenbeschwerden? Ergebnisse einer Querschnittsuntersuchung*. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 56 (2): 45-49
- Krupina TN, Tizul AY, Boglevskaya NM, Baranova BP, Matsnev EI, Cherstovskikh YA** (1967) *Functional changes in the nervous system and functioning and certain analyzers in response to the combined effect of hypokinesia and radial acceleration*. Kosm Biol Med 1: 61-66
- Latorre A, Albareda J, Castiella T et al.** (1998) *Experimental model of multidirectional disc hernia in rats*. Int Orthop 22: 44-48
- Laube W** (1986) *Contribution to the diagnostic reliability of the combined stimulation myographic/mechanographic method applied to the musculus quadriceps femoris*. Biomed Biochem Acta 45 (1-2): 135-138
- Laube W, Müller K** (2002) *Muskeltonus als biophysikalische und neurophysiologische Zustandsgröße - passiver Muskeltonus*. Manuelle Therapie 6: 21-30
- LeBlanc AD, Evans HJ, Schneider VS, Wendt RE 3rd, Hedrick TD** (1994) *Changes in intervertebral Disc cross-sectional Area with Bedrest and Space Flight*. Spine 19: 812-817
- Leboeuf-Yde C** (2000) *Body weight and low Back Pain: A systematic review of 56 journal articles reporting on 65 epidemiologic studies*. Spine 25 (2): 226-237
- Lee SU, Hargens AR, Fredericson M, Lang PK** (2003) *Lumbar Spine Disc Heights and Curvature: upright Posture vs. supine Compression Harness*. Aviat Space and Environ Med 74: 512-516

- Liesi P, Gronblad M, Korkala O, Karaharju E, Rusanen M** (1983) *Substance P: a neuropeptide involved in low back pain?* Lancet 1: 1328-1329
- Linton SJ** (2000) *A review of psychological risk factors in back and neck pain.* Spine 25: 1148-1156
- Linton SJ, Tulder MWv** (2001) *Preventive interventions for back and neck pain problems - What is the evidence?* Spine 26 (7): 778-787
- Lotz JC, Colliou OK, Chin JR et al.** (1998) *Compression induced degeneration of the intervertebral disc: an in vivo mouse model and finite-element study.* Spine 23: 2493-2506
- Lühmann D** (2005) *Prävention von Rückenschmerz - Grundlagen und mögliche Interventionsstrategien.* Bewegungstherapie und Gesundheitssport 21: 138-145
- MacIntyre DL, Reid WD, McKenzie DC** (1995) *Delayed muscle soreness. The inflammatory response to muscle injury and its clinical implications.* Sports Med 20 (1): 24-40
- MacLean JJ, Lee CR, Grad S, Ito K, Alini M, Iatridis JC** (2003) *Effects of immobilization and dynamic compression on intervertebral disc cell gene expression in vivo.* Spine 15; 28 (10): 973-981
- Malko JA, Hutton WC, Fajman WA** (2002) *An in vivo MRI Study of the Changes in volume (and Fluid Content) of the lumbar intervertebral Disc after overnight Bedrest and during an 8-Hour Walking Protocol.* J Spinal Disord Tech 15: 157-163
- Malmivaara A, Koes BW, Bouter LM, van Tulder MW** 2006 *Applicability and clinical relevance of results in randomized controlled trials: the Cochrane review on exercise therapy for low back pain as an example.* Spine 31 (13):1405-9
- Mannion AF, Dvorak J, Taimela S, Muntener M** (2001) *Kraftzuwachs nach aktiver Therapie bei Patienten mit chronischen Rückenschmerzen - Muskuläre Adaptationen und klinische Relevanz.* Schmerz 15: 468-473
- Marras WS** (1993) *Towards an understanding of spine loading during occupationally related dynamic trunk activity.* In: The Ergonomics of Manual Material Handling. London: 25-32
- Marras WS, Daey CA, Maronitis AB, Allread WG** (2000) *The influence of psychosocial stress, gender and personality on mechanical loading of the lumbar spine.* Spine 25 (23): 3045-3054

- McCarthy PW, Petts P, Hamilton A** (1992) *RT87 - and calcitonin gene-related peptide-like immunoreactivity in lumbar intervertebral discs and adjacent tissue from the rat.* J Anat 130: 15-24
- McGill SM, Axler CT** (1996) *Changes in Spine Height throughout 32 Hours of Bedrest.* Arch Phys Med Rehabil 77: 1071-1073
- Modic MT, Obuchowski NA, Ross JS, Brant-Zawadski MN, Groof PN, Mazanec DJ, Benzel EC** (2005) *Acute low Back Pain and radiculopathy: MR imaging findings and their prognostic role and effect on outcome.* Radiology 237 (2): 597-604
- Moneta GB, Videman T, Kaivanto K, et al.** (1994) *Reported pain during discography as a function of anular ruptures and disc degeneration: a reanalysis of 833 discograms.* Spine 19: 1968-1974
- Mooney V** (1987) *Where is the pain coming from?* Spine 12: 754-759
- Muller EA** (1970) *Influence of training and inactivity on muscle strength.* Arch Phys Rehabil Med 51: 449-462
- Mummel P, Timmann D, Krause UW, Boering D, Thilmann AF, Diener HC, Horak FB** (1998) *Postural responses to changing task conditions with cerebellar lesions.* J Neurol Neurosurg Psychiatry 65 (5): 734-742
- Nachemson AL** (1976) *The lumbar spine, an orthopedic challenge.* Spine 1: 59
- Nachemson AL, Vingard E** (2000) *Influences of individual factors and smoking on neck and low Back Pain.* In: Nachemson AL, Jonsson E (Hrsg): Neck and Back Pain - The Scientific Evidence of Causes, Diagnosis and Treatment. Lippincott Williams und Wilkins: Philadelphia, 165-188
- Nachemson AL, Waddell G, Norlund AI** (2000) *Epidemiology of Neck and Low Back Pain.* In: Nachemson AL, Jonsson E (Hrsg): Neck and Back Pain - The Scientific Evidence of Causes, Diagnosis and Treatment. Lippincott Williams und Wilkins: Philadelphia
- Newham DJ, Jones DA, Clarkson PM** (1987) *Repeated high-force eccentric exercise: effects on muscle pain and damage.* J Appl Physiol 63 (4): 1381-1386
- Newham DJ, Jones DA, Ghosh G, Aurora** (1988) *Muscle fatigue and pain after eccentric contractions at long and short length.* Clin Sci (Lond) 74 (5): 553-557
- Nosaka K, Sakamoto K, Newton M, Sacco P** (2001) *How long does the protective effect on eccentric exercise-induced muscle damage last?* Med Sci Sports Exerc 33 (9): 1490-1495

- Nurenberg P, Giddings CJ, Stray-Gundersen J, Fleckenstein JL, Gonyea WJ, Peshock RM** (1992) *MR imaging-guided muscle biopsy for correlation of increased signal intensity with ultrastructural change and delayed-onset muscle soreness after exercise*. Radiology 184 (3): 865-869
- Oshima H, Ishihara H, Urban JP et al.** (1993) *The use of coccygeal discs to study intervertebral disc metabolism*. J Orthop Res 11: 332-338
- Panjabi MM** (1992) *The stabilisation of the spine. Part 1. Function, dysfunction, adaptation and enhancement*. J Spinal Disorders 5: 383-389
- Peng B, Wu W, Hou S, Li P, Zhang C, Yang Y** (2005) *The Pathogenesis of discogenic low Back Pain*. J Bone Joint Surg Br 87: 62-67
- Pfingsten M** (1998) *Aktivierende Behandlung - Ergebnisse, Prognostik und Konsequenzen eines Wandels*. In: Pfingsten M, Hildebrandt J (Hrsg): Chronischer Rückenschmerz, Verlag Hans Huber: Bern, 185-202
- Pfingsten M** (2005) *Bio-psycho-soziale Einflussfaktoren bei Rückenschmerz und Konsequenzen für die Bewegungstherapie*. Bewegungstherapie und Gesundheitssport 21: 152-158
- Pfingsten M, Hildebrandt J** (2004) *Rückenschmerzen*. In: Basler H, Franz C, Kröner-Herwig B, Rehfisch H (Hrsg): Psychologische Schmerztherapie, Springer Verlag: Berlin, 395-414
- Pfingsten M, Leibing E, Harter W, Kroner HB, Hempel D, Kronshage U, Hildebrandt J** (2001) *Fear-avoidance behavior and anticipation of pain*. Pain Med 2: 259-266
- Pierce CM** (1991) *Theoretical approaches to adaptation Antarctica and Space*. In: Harrison AA, Clearwater YA und McKay CP (Eds): From Antarctica to outer space: Life in isolation and confinement, New York, Springer-Verlag, 125-134
- Pooler-Lunse C, Barkman A, Bock BF** (1996) *Effect of modified positioning and mobilization on Back Pain and delayed bleeding in patients who had received heparin and undergone angiography: a pilot study*. Heart and Lung 25: 117-123
- Pope MH, Bevins T, Wilder DG, Frymoyer JW** (1985) *The relationship between anthropometric, postural, muscular and mobility characteristics of males ages 18-55*. Spine 10: 644-648
- Poppel MNMv, Hooftman WE, Koes BW** (2004) *An update of a systematic review of controlled clinical trials on the primary prevention of Back Pain at the workplace*. Occupational Medicine 54, 5: 345-352

- Powell MC, Wilson M, Szypryt S, Symonds EM, Worthington BS** (1986) *Prevalence of lumbar disc degeneration observed by magnetic resonance in symptomless women.* Lancet 2: 1366-1367
- Proske U, Morgan DL** (2001) *Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications.* J Physiol Dec 1 (573): 233-245
- Punnett L, Fine LJ, Keyserling WM, Herrin GD, Chaffin DB** (1991) *Back disorders and nonneutral trunk postures of automobile assembly workers.* Scand J Work Environ Health 17: 417-425
- Raspe H, Kohlmann T** (1998) *Die aktuelle Rückenschmerz-Epidemie.* In: Pflüger M und Hildebrandt J (Hrsg): Chronischer Rückenschmerz, Verlag Hans Huber: Bern, 20-33
- Resnik L, Dobrykowski E** (2005) *Outcome measurements for patients with low Back Pain.* Orthop Nurse 24 (1): 14-24
- Rhynes AL, Smith SE, Wood KE, Darden BV** (1995) *Outcome of unoperated discogram-positive low back pain.* Spine 20: 1997-2000
- Riihimäki H** (1991) *Low Back Pain, its origin and risk indicators.* Scand J Work health Environ 17: 81-90
- Riley DA, Ellis S, Slocum GR, Sedlak FR, Bain JL, Mijayan K, De Bruin JA** (1996) *In-flight and postflight changes in skeletal muscles of SLS-1 and SLS-2 spaceflown rats.* J Appl Physiol 81: 133-144
- Roberts S, Eisenstein SM, Menage J, Evans EH, Ashton IK** (1995) *Mechanoreceptors in intervertebral discs. Morphology, distribution and neuropeptides.* Spine 15; 20 (24): 2645-2651
- Roy SH, De Luca CJ, Snyder-Mackler L, Emley MS, Crenshaw RL, Lyons JP** (1990) *Fatigue, Recovery and low Back Pain in varsity Rowers.* Med Sci Sports Exerc 22: 463-469
- Roy SH, Oddsson LI** (1998) *Classification of paraspinal muscle impairments by surface electromyography.* Phys Ther 78 (8): 838-851
- Royal College of General Practitioners** (1996, 1999) *Clinical Guidelines for the management of Acute Low Back Pain.* London, Royal College of General Practitioners, UK
- Saifuddin A, Braithwaite I, White J, Taylor BA, Renton P** (1998) *The value of lumbar spine magnetic resonance imaging in the demonstration of annular tears.* Spine 23: 453-457

- Saltin B, Blomquist B, Mitchel JH et al.** (1968) *Response to submaximal and maximal exercise after bed rest and training.* Circulation 38 (suppl 5): VII 1-78
- Schilgen M** (2002) *Rückenschmerzen - Allgemeines zur Diagnostik und Therapie.* In: Gralow I, Husstedt IW, Bothe H, Evers S, Hürter A, Schilgen M (Hrsg): Schmerztherapie interdisziplinär, Schattauer: Stuttgart, 152-163
- Schultz IZ, Crook J, Meloche GR, Berkowitz J, Milner R, Zuberbier OA, Meloche W** (2003) *Psychosocial factors of occupational low back disability: towards development of a return-to-work model.* Pain 107: 77-85
- Schwarzer AC, Aprill CN, Derby R, Fortin J, Kine G, Bogduk N.** (1995) *The prevalence and clinical features of internal disc disruption in patients with chronic low Back Pain.* Spine 20: 1878-1883
- Shirado O, Ito K, Kaneda K, Straex TE** (1995) *Flexion-relaxation phenomenon in the back muscles. A comparative study between healthy subjects and patients with chronic low Back Pain.* Am J Phys Med Rehabil, 74 (2): 139-144
- Sikorski JM, Stampfer HG, Cole RM, Wheatley AF** (1996) *Psychological Aspects of chronic low back pain.* Aust N Z J Surg 66 (5): 294-297
- Simuncic DI, Broom ND, Robertson PA** (2001) *Biomechanical factors influencing nuclear disruption of the intervertebral disc.* Spine 26: 1223-1230
- Sjoogard G, Kiens B, Jorgensen K, Saltin B** (1986) *Intramuscular pressure, EMG blood flow during low-level prolonged static contraction in man.* Acta Physiol Scand 128: 475-484
- Smidt N, de Vet HC, Bouter LM, Dekker J** (2005) *Effectiveness of exercise therapy: A best-evidence summary of systematic reviews.* Aust J Physiother 51 (2): 71-85
- Smith LL** (1991) *Acute inflammation: the underlying mechanism in delayed onset muscle soreness?* Med Sci Sports exerc 23 (5): 542-551
- Stokes IA, Arronsson DD, Spence H et al.** (1998) *Mechanical modulation of intervertebral disc thickness in growing rat tails.* J Spinal Disord 11: 261-265
- Styf JR, Ballard RE, Fechner K, Watenpaugh DE, Kahan NJ, Hargens AR** (1997) *Height Increase, Neuromuscular Function and Back Pain during 6° Head-Down tilt with Traction.* Aviat Space and Environ Med 68: 24-29
- Styf JR, Hutchinson K, Carlsson SG, Hargens AR** (2001) *Depression, Mood State and Back Pain during Microgravity simulated by Bedrest.* Psychosomatic Medicine 63: 862-864

- Suni J** (2000) *Health-Related Fitness Test Battery for Middle Aged Adults with Emphasis on Musculoskeletal and Motor Tests*. Doctoral Dissertation. Finland: University of Jyväskylä
- Takenaka Y, Revel M, Kahan A et al.** (1987) *Experimental model of disc herniations in rats for study of nucleolytic drugs*. Spine 12: 556-560
- Tilscher H** (1998) *Low Back Pain - Diagnostik und konservative Therapie aus orthopädischer Sicht*. Anasthesioll Intensivmed Notfallmed Schmerzther 33: 795-798
- Troup JDG, Foreman TK, Baxter CE, Brown D** (1987) *The perception of the Back Pain and the role of psycho physical tests of lifting capacity*. Spine 12 (7): 645-657
- Tulder MWv, Furlan A, Bouter LM, Bombardier C Editorial Board of the Cochrane Back Review Group** (2003) *Updated method Guidelines for Systematic reviews in the Cochrane Collaboration Back Review Group*. Spine 28: 1290-1299
- Tveito TH, Hysing M, Eriksen HR** (2004) *Low Back Pain interventions at the workplace: a systematic literature review*. Occupational Medicine 54 (1): 3-13
- Vuori IM** (2001) *Dose-response of physical activity and low Back Pain, osteoarthritis and osteoporosis*. Med Sci Sports Exerc 33 (6 Supl): 551-586
- Waddell G** (1998 a) *Rückenschmerz: Eine medizinische Herausforderung des 20. Jahrhunderts*. In: Pflingsten M und Hildebrandt J (Hrsg): Chronischer Rückenschmerz. Verlag Hans Huber: Bern, 83-97
- Waddell G** (1998 b) *The Back Pain Revolution*. 1. Auflage Churchill Livingstone: London
- Waddell G, Burton AK** (2000) *Occupational health guidelines for the management of low Back Pain at work - Evidence review*. Faculty of Occupational Medicine, London
- Wang S, Redeker NS, Moreyra AE, Diamond MR** (2001) *Comparison of comfort and local complications after cardiac catheterization*. Clinical Nursing Research 10: 29-39
- Watson KD, Papageorgiou AC, Jones GT, Taylor S, Symmons DPM, Silman AJ, Macfarlane GJ** (2002) *Low Back Pain in schoolchildren: occurrence and characteristics*. Pain 97: 87-92
- Weiss K, Moser G** (1998) *Interpersonal relationships in isolation and confinement: long-term bed rest in head-down tilt position*. Acta Astronaut 43 (3-6): 235-248
- Wing PC, Tsang IK, Susak L, Gagnon F, Gagnon R, Potts JE** (1991) *Back Pain and spinal Changes in Microgravity*. Orthop Clin North Am 22: 255-262

**Youdas JW, Garret TR, Egan KS, Therneau TM** (2000) *Lumbar lordosis and pelvic inclination in adults with chronic low Back Pain*. Phys Ther 80: 261-275

**Young JL, Herring SA, Press JM** (1997) *Bed rest and exercise as clinical management tools for acute low Back Pain*. In: Gonzalez E (Hrsg): *The Nonsurgical Management of Acute low Back Pain*. New York, Demos Vernande, 209-220

## Abbildungsverzeichnis

Abb.-Nr.	Titel	Seite
1	a-b): Flexion und Extension von Oberkörper, Rumpf/Hüfte und Beinen in sagittaler Bewegungsrichtung wechselseitig auf der Körperseite re./li.; c-d): Seitneigung des Oberkörpers in der Frontalebene nach re./li.; e-f): Rotation Rumpf/Hüfte in der Longitudinalebene re./li. g-h): Rotation Oberkörper in der Longitudinalebene in Rückenlage re./li.	18 f.
2	Beispielhafte Darstellung der Gesamtinstrumentierung mit Fokus auf die Ultraschalldiagnostik: Der rote Streckenbereich entspricht dem thorakalen Messbereich von C7 bis TH12/L1. Der blaue Streckenbereich entspricht dem lumbalen Messbereich von TH12/L1 bis L5/S1.	22
3	Die Streckenänderung gemessen mittels Ultraschall, dargestellt am Beispiel der LWS links bei der Durchführung der Standardpositionen am Beispiel eines Probanden zu einem Messzeitpunkt aus der Vorbereitungsphase.	24
4	Prozentuale Häufigkeitsverteilung der thorakalen und lumbalen Bewegungsamplituden rechts und links der Wirbelsäule am Beispiel eines Probanden während der Liegephase. Oben: Histogramme für die Brustwirbelsäule; unten: Histogramme für die Lendenwirbelsäule.	25
5	Verarbeitung des elektromyographischen Signals. Von oben nach unten: EMG-Rohsignal, gefiltertes EMG, gleichgerichtetes EMG und integriertes EMG.	28
6	Graphische Darstellung der Gesamtinstrumentierung mit Fokus auf die EMG-Diagnostik mit bipolarer Ableittechnik (N 0 = neutrale Elektrode; Th 1 und Th 2 = BWS-Bereich links; Th 3 und Th 4 = BWS-Bereich rechts; L 1 und L 2 = LWS-Bereich links; L 3 und L 4 = LWS-Bereich rechts).	29
7	Rückenschmerz-Intensität vor, während und nach der Liegephase für alle drei Gruppen (TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).	34
8	Gesamtlänge der Wirbelsäulensegmente betrachtet von C7-L5/S1, ausgedrückt in Prozent der Ausgangswerte vor der Bettliegephase (TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).	37

Abb.-Nr.	Titel	Seite
9	Länge des thorakalen Wirbelsäulensegmentes (von C7 bis Th12/L5) in der Biphosphonat-, Fly-wheel- und Kontroll-Gruppe (BIP, FW und C) während der Bettliegeperiode (HDT) und Wiederherstellungsphase (REC) prozentual bezogen auf die Vorbereitungsphase (BDC) ( $\bar{x} \pm SE$ ).	38
10	Länge des lumbalen Wirbelsäulensegmentes (Th12/L1 bis L5/S1) in der Biphosphonat-, Fly-wheel- und Kontroll-Gruppe (BIP, FW und C) während der Bettliegeperiode (HDT) und Wiederherstellungsphase (REC) prozentual bezogen auf die Vorbereitungsphase (BDC) ( $\bar{x} \pm SE$ ).	39
11	Bewegungsamplitude des thorakalen Abschnitts gemessen über 24 Stunden, ausgedrückt in Prozent des Ausgangsniveaus vor der Liegephase (TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).	40
12	Bewegungsamplitude des lumbalen Abschnitts, gemessen über 24 Stunden, ausgedrückt in Prozent zum Ausgangswert vor der Bettliegephase (TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).	41
13	Unterschiede des Flexibilitätsindex im thorakalen Wirbelsäulensegment nach 90 Liegetagen (TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).	43
14	Unterschiede im Flexibilitätsindex für das lumbale Wirbelsäulensegment am 1. und 8. Tag nach der Liegephase (TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).	44
15	Die aufsummierte Bewegung im thorakalen Bereich über 24 h bezogen auf die Ausgangswerte vor der Liegephase (TG=Trainingsgruppe, KG =Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).	45
16	Die aufsummierte Bewegung im lumbalen Wirbelsäulensegment über 24 h bezogen auf die Ausgangswerte vor der Liegephase (TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).	46
17	Die mittlere bewegungsfreie Zeit für alle Gruppen (TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe und MG=Mobilisationsgruppe) am 13. Tag der Vorbereitungsphase, am 1. und 5. Liegetag sowie am 2. Tag der Erholungsphase.	48

Abb.- Nr.	Titel	Seite
18	Mittlere bewegungsfreie Zeit (s) bei kein Schmerz/Schmerz am ersten Liegetag (n=9 kein Schmerz, n=16 Schmerz), fünften Liegetag (n=10 kein Schmerz, n=14 Schmerz) und am zweiten Erholungstag (n=9 kein Schmerz, n=14 Schmerz).	49
19	EMG-Aktivität der wirbelsäulennahen Muskulatur im BWS- und LWS-Bereich am ersten, fünften Liegetag und dem zweiten Tag der Erholungsphase (TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).	50
20	EMG-Aktivität der wirbelsäulennahen Muskulatur am ersten Liegetag bei „kein Schmerz/Schmerz“.	51
21	EMG-Aktivität der wirbelsäulennahen Muskulatur am fünften Liegetag bei „kein Schmerz/Schmerz“.	52
22	EMG-Aktivität der wirbelsäulennahen Muskulatur am zweiten Tag nach der Liegephase bei „kein Schmerz/Schmerz“.	53
23	Eine 24-h-Aufzeichnung, mit EMG und Wirbelsäulenvermessung dargestellt am Beispiel eines Probanden aus der Liegephase.	54
24	Aufzeichnung eines Probanden aus der Liegephase beim Training an der Beinpresse.	55

## Tabellenverzeichnis

Tab.-Nr.	Titel	Seite
1	Anthropometrische Daten der untersuchten Gruppen ( $\bar{x} \pm SD$ , TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).	18
2	Anzahl der Probanden mit Rückenschmerzen an mindestens einem Tag des angegebenen Zeitraums während der Liege- und Erholungsphase (TG=Trainingsgruppe, KG=Kontrollgruppe, MG=Mobilisationsgruppe).	35

## Quellen aus dem Internet

Adresse/Link	Seite	Zugriff vom (Datum)
<a href="http://de.wikipedia.org/Rückenschmerzen">http://de.wikipedia.org/Rückenschmerzen</a>	2; 3	24.03.2006
<a href="http://www.backpaineurope.org/web/html/wg3_results.html">http://www.backpaineurope.org/web/html/wg3_results.html</a>	7; 12	22.04.2006

# Anhang

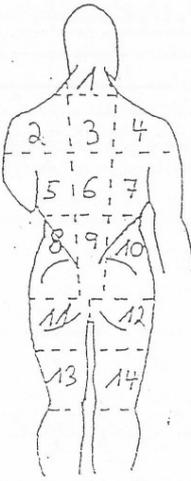
HDT 1  
M1

**Questionnaire-WSG**

Nom: [REDACTED]      Abréviation: *M1*      Date: *09.02.01*  
 Jour de l'exame: BDC- /HDT / Rec  
 Group: Control / Exercise / Bi-Phosh

Avez-vous maintenant mal au dos durant les dernières 24 heures?  
 oui:       non:

Si oui, identifiez sur le dessin les zones concernées et remplissez les rectangles appropriés avec les lettres (T, B, D, K, or S) et chiffres (de 1 à 5) qui décrivent le type de douleur et son intensité.



Régions du corps concernées:

1:

2:     3:     4:

5:     6:     7:

8: *B | 2*    9:     10: *B | 2*

11:     12:

13:     14:

Type de douleur:

T: engourdisante  
 B: brulante  
 D: sourde  
 K: picotante  
 S: douloureuse

Niveau des douleurs

1: très faible  
 2: faible  
 3: moyen  
 4: forte  
 5: très forte

Est-ce que les douleurs dorsale sont restées inchangées les dernières 24 heures?  
 oui:       non:

Si non, quand étaient-elles les plus fortes?

le matin       a midi       le soir       la nuit

Rémarques:

Beispielhafter Fragebogen zur Erfassung der Schmerzqualität, -lokalisierung, -intensität sowie des Zeitpunkts des Auftretens (Tageszeit)

## LEBENS LAUF SVEN RÖHRICH

---

<b>Persönliche Informationen</b>	Familienstand:	ledig
	Nationalität:	deutsch
	Alter:	35
	Geburtsort::	Kronstadt (Rumänien)
<b>Schul Ausbildung</b>	1989	Allgemeine Hochschulreife, Dietzenhofer-Gymnasium in Bamberg
<b>Beschäftigungsverhältnisse</b>	11/1998-09/2000	Sporttherapeut REHA Düsseldorf GmbH
	01/2001-06/2003	wissenschaftliche Hilfskraft physiologisches Institut, Fachbereich Leistungsphysiologie, Deutsche Sporthochschule Köln
	11/2003 bis heute	Sportliche Leitung Trainingsinstitut Prof. Dr. Baum GmbH, Köln
<b>Studium</b>	04/1992-09/1998	Studium Sportwissenschaften, Deutsche Sporthochschule Köln Abschluss: Diplom-Sportlehrer
<b>Promotionsstudium</b>	Seit 04/2002	Hauptfach Rehabilitation und Behindertensport, Deutsche Sporthochschule Köln

Köln, 22.02.2007

# **Die Auswirkungen einer 90tägigen Liegephase auf Rückenschmerzen und die Bewegungsaktivität der Rückenmuskulatur**

**S. Röhrich**

**Institut für Rehabilitation und Behindertensport  
Deutsche Sporthochschule Köln**

## **Einleitung:**

Die Ursache der in Schwerelosigkeit und in Liegestudien häufig auftretenden Rückenschmerzen ist bis heute noch weitgehend unklar. Gegenstand dieser Arbeit ist die Validierung eines Mobilisationsprogramms zur Linderung bzw. Verhinderung von Rückenschmerzen, wie sie im Rahmen von Schwerelosigkeit oder simulierter Schwerelosigkeit bei Bettliegestudien auftreten.

## **Methode:**

Die Teilstudie „Backpain“ war integriert in die „Long-term-bed-rest-study“ 2001-2002. Die Untersuchungen des Projektes fanden im Rahmen von zwei 90tägigen Bettliegephasen in der Weltraumklinik MEDES-IMPS in Toulouse statt. Die Grundidee basierte auf einer 6°-Kopftieflage der Probanden, um die vaskulären und kardialen Bedingungen unter Schwerelosigkeit zu simulieren. Die Teilnehmer der Studie (n=25) wurden randomisiert einer von 3 Gruppen zugeteilt. Die Trainingsgruppe (n=9) trainierte während der Bettliegephase 3mal pro Woche die untere Extremität an einer speziell entwickelten Beinpresse. Die Kontrollgruppe (n=9) wurde während der Bettliegephase keinem Aktivitätsprogramm unterzogen. Die Mobilisationsgruppe (n=7) führte das präventive Rückenmobilisationsprogramm durch. Das zu validierende Bewegungsprogramm bestand aus langsamen Rückenbewegungen in allen drei Ebenen mit großen Amplituden und wurde fünfmal täglich durchgeführt.

Darüber hinaus wurde bei allen Studienteilnehmern an insgesamt zwölf Tagen (vor, während und nach der Liegephase) die Wirbelsäulengeometrie des Rückens mittels Ultraschall sowie die elektromyographische Aktivität der wirbelsäulennahen Muskulatur erfasst. Neben der Erfassung der physiologischen Parameter wurden die Teilnehmer mittels eines standardisierten Fragebogens hinsichtlich ihrer Rückenschmerz-symptomatik befragt.

## **Ergebnisse:**

Bei nahezu allen Teilnehmern traten Rückenschmerzen auf. Sie wurden fast ausschließlich im lumbalen Abschnitt deutlich rechts und links versetzt der Wirbelsäule lokalisiert und als dumpf beschrieben. Die Schmerzen waren mit reduzierten Bewegungsamplituden im lumbalen Bewegungssegment sowie einer vergrößerten thorakalen und tendenziell verkleinerten lumbalen Wirbelsäulenlänge verbunden. Die größten Schmerzen traten zu Beginn der Liegephase auf. Die Probanden der Kontroll- und Mobilisationsgruppe waren ab dem achten Tag der Liegephase schmerzfrei. Dies galt nicht für die Teilnehmer der Krafttrainingsgruppe, die während der gesamten Liegephase ein besonderes und zeitlich vom Training abhängiges Schmerzmuster zeigten. Des

Weiteren traten bei den Probanden der Kontroll- und Krafttrainingsgruppe wiederum direkt am ersten Tag nach Ende der 90tägigen Liegephase verstärkt Schmerzen auf. Die Probanden der Mobilisationsgruppe waren hingegen nahezu schmerzfrei. Der Unterschied zu den beiden anderen Gruppen war signifikant.

Die elektromyographischen Langzeitaufnahmen der wirbelsäulennahen Rückenmuskulatur konnten nicht belegen, dass der Schmerz durch eine aktive Tonuserhöhung der Muskulatur zustande kam.

**Schlussfolgerung:**

Das gewählte Mobilisationsprogramm des Rückens konnte den Schmerz während der ersten Liegetage nicht mindern. Dafür verhinderte es signifikant das Auftreten von Rückenschmerzen nach der Liegephase und verbesserte die Flexibilität der Probanden.

Die im Rahmen der Studie gewonnenen Ergebnisse bestätigen die Erkenntnis, dass Minderbelastung und Bewegungsreduktion an der Schmerzentwicklung beteiligt sind. Des Weiteren wird aufgezeigt, dass ein dosiertes und funktionelles Bewegungsprogramm eine wirksame und kostengünstige Präventionsmaßnahme für die Schmerzentstehung nach längerem Bettaufenthalt darstellen kann.

**Schlüsselwörter:**

Bettliegestudie, EMG, Immobilisation, Mobilisationsprogramm, Rückenschmerzen, Rückenschmerzprävention, Schwerelosigkeit, Wirbelsäule, Wirbelsäulenlänge

# **The impact of a 90-day bed rest phase on back pain and motion activity of the back musculature**

**S. Röhrich**

**Institute of Rehabilitation and Sport for the Disabled  
German College for Physical Education Cologne**

## **Introduction:**

Until today it has to a large extent not been possible to detect the cause of back pain, particularly arising during situations of weightlessness and bed rest. The purpose of the present study is the validation of a mobilisation programme used to reduce or even prevent the occurrence of back pain, as it occurs during weightlessness or simulated weightlessness such as bed rest studies.

## **Method:**

The “back pain” study constituted a part of the “long term bed rest study” 2001-2002. Research was conducted at the MEDES-IMPS space clinic in Toulouse in form of two 90 day bed rest periods. Subjects were positioned in a 6° head down tilt position in order to simulate vascular and cardiac conditions of weightlessness. Participants (n=25) were randomly allocated to one of three groups. The training group (n=9) performed physical exercises with the lower part of their bodies by using a specially developed leg press, three times a week during the bed rest period. The control group (n=9) did not carry out any activities at all during the bed rest phase. The mobilisation group (n=7) completed the back mobilisation programme, as a preventive measure. Slow dorsal movements executed on all three levels in form of wide amplitudes, repeated five times each day concluded the motion programme.

In addition, the dimensions of the spinal column as well as the EMG activity of the muscles adjacent to the spinal column were recorded by means of ultrasound at a total of twelve days (before, during and after bed rest). Besides measuring the physiological parameters, each participant daily filled a standardised questionnaire in order to provide information about intensity and location of back pain.

## **Results:**

Almost all of the test persons demonstrated signs of back pain. Pain could exclusively be reduced to the lumbar part, the area to the left and right of the spinal column and was described as being of a dull kind. Recordings demonstrated that pain arose in conjunction with reduced motion amplitudes in the lumbar movement sector, as well as in conjunction with an increased thoracic and mostly reduced lumbar length of the spinal column. The highest amount of pain was experienced in the initial phase of bed rest. Those participants, who attended the control and mobilisation groups, evidenced a pain-free atmosphere from the eighth day of bed rest onwards. The exercise group, however, was exposed to a different kind of pain pattern during the entire phase of bed rest, which was particularly dependent from the time periods their special exercises took place. Furthermore the participants of the control and exercise groups disclosed increasing pain sensations directly on the first day after the 90 day rest

period had ceased. The participants of the mobilisation group, on the other hand, experienced almost no pain at all. The difference between the other two groups proved to be significant.

The EMG long-term recordings, which depicted the back musculature adjacent to the spinal column, were not able to demonstrate, however, that the pain experienced by the participants was produced by an active hypertonia of the musculature.

**Conclusion:**

The back pain, which occurred during the first days of bed rest, was not able to be reduced by the chosen mobilisation programme. Instead, it was possible to notably prevent the development of back pain after the period of rest had concluded and to improve the flexibility of the test persons. The results gained during the course of this study confirm that reduced exposure and movement contribute to the development of back pain. In addition, it accentuates the fact that a functional motion programme provides an effective and measure to prevent any development of pain that may occur after longer periods of bed rest.

**Keywords:**

bed rest study, EMG, immobilisation, mobilisation programme, back pain, prevention, weightlessness, spinal column, length of the spinal column