

**Aus der Abteilung Nephrologie und Rheumatologie
(Prof. Dr. med. G. A. Müller)
im Zentrum Innere Medizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen**

**Eignet sich der Balance-X-Sensor Pro als
Assessmentinstrument im Alltag einer Rehabilitationsklinik?**

**Entwicklung einer Testbatterie für Patienten mit chronischen
Rückenschmerzen und anschließender Vergleich mit bereits
validierten Assessmentmethoden**

INAUGURAL – DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades

**der Medizinischen Fakultät der Georg-August Universität
zu Göttingen**

vorgelegt von

**Josephine Burke
(geb. Konrad)**

aus

Magdeburg

Göttingen 2012

D e k a n: Prof. Dr. med. C. Frömmel

- I. Berichterstatterin: Prof. Dr. med. M. Reuss-Borst**
- II. Berichterstatter: Prof. Dr. rer. biol. hum. M. Pfingsten**
- III. Berichterstatter: Prof. Dr. med., Dr. rer. nat. T. Crozier**

Tag der mündlichen Prüfung: 12.12.2012

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1 Einleitung.....	1
1.1 Epidemiologie von Rückenschmerzen und deren Bedeutung für das Gesundheitssystem	1
1.2 Einteilung von Rückenschmerzen.....	2
1.2.1 Spezifischer Rückenschmerz	2
1.2.2 Nicht-spezifischer Rückenschmerz.....	3
1.3 Behandlung, Behandlungserfolg und Prognose.....	5
1.4 Funktions- und Leistungsdiagnostik.....	6
1.5 Posturographie.....	12
1.6 Ziel der Arbeit.....	17
2 Material und Methoden	19
2.1 Studiendesign	19
2.2 Einschluss-, Ausschluss- und Abbruchkriterien	19
2.3 Der Balance-X-Sensor Pro (BXS)	20
2.3.1 Was ist der BXS?.....	20
2.3.2 Aufbau und Funktionsweise des BXS	20
2.3.3 Messbare Parameter mittels des BXS	22
2.4 Die Entwicklung der Testbatterie für den BXS	23
2.4.1 Allgemeines	23
2.4.2 Die vorläufigen Tests	24
2.4.3 Die endgültigen Tests	26
2.5 Die erwarteten BXS-Ergebnisse	27
2.6 Der BXS-Untersuchungsablauf	28
2.7 Der Rückentest	29
2.7.1 Allgemeine Informationen	29
2.7.2 Die Mobilitätsmessung.....	29
2.7.3 Die Messung der isometrischen Maximalkraft (isoMK)	30
2.8 Der Funktionsfragebogen Hannover Rücken (FFbH-R).....	30
2.9 Integration des Studienablaufes in den Alltag der Rehabilitationsklinik	31

2.10	Statistische Auswertung.....	34
3	Auswertung	35
3.1	Demographie der Studienteilnehmer	35
3.2	Die Testbatterie.....	37
3.3	BXS-Ergebnisse.....	37
3.3.1	Statische Tests	38
3.3.2	Dynamische Tests	40
3.4	RT- und FFbH-R-Ergebnisse	42
3.5	Zusammenhang zwischen BM/RM und Leistung sowie Spurlänge.....	43
3.6	Komprimierte Datensätze	44
3.6.1	Auswertung Patientendaten, Rehabilitationsdauer und Behandlungsmethoden der komprimierten Datensätze	44
3.6.2	Auswertung des FFbH-R in den komprimierten Datensätzen.....	46
3.6.3	Auswertung der Ergebnisse des Rückentests	47
3.6.4	Auswertung der BXS-Werte.....	48
3.6.5	Korrelationsanalyse	50
4	Diskussion	52
4.1	Allgemeines	52
4.2	Praktikabilität der Testbatterie (Durchführung).....	54
4.3	Die BXS-Ergebnisse	57
4.3.1	Statische Tests	58
4.3.2	Dynamische Tests	60
4.3.3	Unterschiede zwischen rechts und links	61
4.3.4	Korrelationsanalyse	62
4.4	Zusammenhang der BXS-Ergebnisse mit Rückentest	63
4.4.1	Allgemeines	63
4.4.2	BM/RM.....	65
4.4.3	Mobilität	66
4.5	Zusammenhang der BXS-Ergebnisse mit dem FFbH-R	68
5	Zusammenfassung.....	71
6	Anhang.....	75
6.1	Patientenaufklärung.....	75
6.2	Patienteneinverständniserklärung.....	77
6.3	Tests mittels Balance-X-Sensor Pro für Patienten mit Chronischen Rückenschmerzen	78

6.4	Rückentest.....	80
6.5	FFbH-R.....	84
6.5	Therapiemaßnahmen in der Rehaklinik Am Kurpark	85
6.6	Tabellen.....	86
7	Literaturverzeichnis	88

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Wirbelsäulenstabilitätsmodell nach Panjabi	4
Abb. 2: Zusammenhang zwischen Beeinträchtigungserleben, Schmerzerleben und Funktionskapazität.....	7
Abb. 3: Epionics SPINE® am Patienten	9
Abb. 4: Der Balance-X-Sensor Pro.....	21
Abb. 5: Screenshot der Auswertungsdatei des Balance-X-Sensor Pro.....	21
Abb. 6 a-e: Ein Proband bei der Ausführung des Tests: Einbeinig rechts/links	27
Abb. 7: Ablaufplan	33
Abb. 8: Durchschnittsalter der Probanden.....	35
Abb. 9: Teilnehmerzahl	36
Abb. 10: BXS - Leistung statische Tests	39
Abb. 11: BXS - Spurlänge statische Tests	39
Abb. 12: BXS - Muskelleistungsfrequenz statische Tests	40
Abb. 13: BXS - Leistung dynamische Tests	41
Abb. 14: BXS - Muskelleistungsfrequenz dynamische Tests	42
Abb. 15: RT-Ergebnisse	43

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Funktionelle Frequenzbereiche der Fourir-Analyse nach Oppenheim	15
Tab. 2: Einschluss-, Ausschluss- und Abbruchkriterien.....	20
Tab. 3: Auswertungsbeispiele	22
Tab. 4: Erwartete BXS-Veränderungen (↑ gestiegen, ↓ gesunken, - nicht ausgewertet).....	28
Tab. 5: Häufigkeiten der Nebendiagnosen [Anzahl]	36
Tab. 6: Korrelationsanalyse von BM/RM, Leistung, und Spurlänge.....	44
Tab. 7: Altersverteilung nach Geschlecht und Einteilung in Altersklassen.....	45
Tab. 8: Rehadauer nach Klasseneinteilung und Geschlechtsunterschied	45
Tab. 9: T-Test-Ergebnisse für unabhängige Stichproben (Alter, Reha-Dauer, aktives Training, Behandlungsanzahl).....	46
Tab. 10: FFbH-R-Differenzen, in Klassen unterteilt	47
Tab. 11: Varianzanalyse, Mittelwerte, Standardabweichungen und Signifikanz der RT-Ergebnisse.....	48
Tab. 12: Varianzanalyse der RT-Ergebnisse in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	48
Tab. 13: Übersicht aller BXS-Parameter mit Mittelwert, SD und Spannweite	49
Tab. 14: Mittelwerte, Standardabweichungen und Ergebnisse T-Test der MLF im Vergleich vor und nach Therapie (n=56).....	50

Abkürzungsverzeichnis

AU	Arbeitsunfähigkeit
BM	Bauchmuskulatur
BM/RM	Quotient aus Bauchmuskulatur und Rückenmuskulatur
BXS	Balance-X-Sensor
Einbeinig rechts/links	Einbeiniges Aufstehen von einem Stuhl rechts/links
FFbH-R	Funktionsfragebogen Hannover-Rücken
FK	Funktionskapazität
GKV	Gesetzliche Krankenversicherung
Hz	Hertz
ICD	Internationale Klassifikation der Krankheiten
isoMK	isometrische Maximalkraft
m	männlich
n. s.	nicht signifikant
p	p-Wert
r	Korrelationskoeffizient
RM	Rückenmuskulatur
RT	Rückentest
SD	Standardabweichung
Tab.	Tabelle
w	weiblich

1 Einleitung

1.1 Epidemiologie von Rückenschmerzen und deren Bedeutung für das Gesundheitssystem

Rückenschmerzen sind das häufigste Gesundheitsproblem unserer Tage (Götschi et al. 2002). Anhand der Punktprävalenz von 25 – 40% ist zu erkennen, dass ca. jeder dritte die Frage „Haben Sie heute Rückenschmerzen?“ mit einem „ja“ beantwortet. Die Lebenszeitprävalenz liegt laut der WHO bei etwa 80% (WHO 2003). Auch Descarreau et al. sprechen von einer Lebenszeitprävalenz von 50 - 80% (Descarreau, Blouin und Tensdale 2005).

Chronische Rückenschmerzen sind keine Diagnose; vielmehr sind sie als eigenständiges Krankheitsbild im Sinne eines Symptomverhaltensproblems zu sehen (Reuter et al. 2009). Mit wechselnder Intensität werden Schmerzen im Bereich der Wirbelsäule und der sie umgebenden Gewebe angegeben. Dabei ist die Lebensqualität aufgrund von Schmerz und Funktionsverlust stark eingeschränkt. Entgeltausfall, drohende Erwerbsminderung und anfallende Behandlungskosten schränken die Teilhabe am täglichen Leben und an der Gesellschaft zusätzlich ein.

Somit stellen Rückenschmerzen ein großes Problem für die Betroffenen und - aufgrund ihrer Häufigkeit - auch einen großen Kostenfaktor für das Gesundheitssystem dar (Wagner et al. 2007). Laut Bundesverband selbstständiger Physiotherapeuten leiden etwa drei Viertel der Deutschen an gelegentlichen Rückenschmerzen, wobei sie bei 8 Millionen bereits chronisch seien (Bundesverband selbstständiger Physiotherapeuten o. J.). Aus dem DAK-Gesundheitsreport 2010 geht hervor, dass die Muskel-Skelett-Erkrankungen auch im Jahr 2009 wieder den 1. Platz unter den wichtigsten Krankheitsarten eingenommen haben. Mit 21% Anteil am Krankenstand und rund 259 AU-Tagen je 100 Versicherter liegen sie auch beim Tagevolumen an der Spitze. Bei der Erkrankungshäufigkeit belegen sie mit 15,2 Erkrankungsfällen pro 100 Versicherter den 2. Platz. In der Gruppe der Muskel-Skelett-Erkrankungen bilden die Rückenerkrankungen den größten Teilkomplex. Ihre Behandlung ist mit einem hohen Zeitaufwand und Medikamentenkonsum verbunden und führt dennoch meist zu unbefriedigenden Ergebnissen. Die hohen Behandlungskosten, Fehlzeiten und Frühberentungen verursachen enorme Kosten für das Gesundheitssystem. 2009 lagen die Ausgaben der GKV für Arznei-, Verband- und Hilfsmittel aus Apotheken und Sonstigen bei 30,742 Mrd. Euro. Dies entspricht einer Steigerung zum Vorjahr um 5,19%. Bei den Leistungen zur Rehabilitation kommt den Rückenerkrankungen eine große Bedeutung zu. 2003 gehörten sie mit 6,9% zu den zweithäufigsten Rehabilitationsdiagnosen. Die Ausgaben

für Vorsorge und Rehabilitationsmaßnahmen lagen 2009 bei 2,444 Mrd. Euro (AOK-Bundesverband 2010), was fast 3% der Gesundheitsausgaben entspricht.

1.2 Einteilung von Rückenschmerzen

Grundsätzlich wird zwischen „spezifischem“ und „nicht-spezifischem“ Rückenschmerz unterschieden (Koes et al. 2006). Die Unterscheidung erfolgt anhand der Ursache der Schmerzen. Den spezifischen Rückenschmerzen (10% der Fälle) liegt eine pathophysiologische Ursache zugrunde. Der Schmerzauslöser kann hier in allen Bereichen der Wirbelsäule liegen.

In 90% der Fälle handelt es sich allerdings um nicht-spezifische Rückenschmerzen. Diese sind definiert durch das Fehlen eines pathophysiologischen und pathoanatomischen eindeutig definierten Substrates für den Schmerz (Wagner et al. 2007).

Eine weitere Einteilung erfolgt anhand der Dauer der Beschwerden. Akute Rückenschmerzen treten entweder erstmalig oder nach mindestens sechsmonatiger Beschwerdefreiheit innerhalb eines Tages auf und halten für höchstens drei Monate an.

Unter chronischen Rückenschmerzen werden Schmerzzustände im Bereich der Wirbelsäule und der sie umgebenden Gewebe verstanden, die länger als 6 Monate andauern und nicht auf eine spezifische Erkrankung zurückzuführen sind. Sie sind mit mehr als einer Episode an mehr als der Hälfte der Tage eines Jahres vorhanden. Der häufigste Schmerzort ist mit 70% der untere Rückenbereich (Hildebrandt, Mense 2001).

1.2.1 Spezifischer Rückenschmerz

Alle Gewebe, die zur Funktion der Wirbelsäule beitragen, können überansprucht oder geschädigt werden. Dazu gehören z.B. das Periost, die Anuli fibrosi, Facettengelenke, Gelenkkapseln oder Spinalwurzeln. Als Folge hiervon treten Schmerzen auf. Eine degenerative Veränderung an Bandscheibe oder Facettengelenken kann zusätzlich zu einer Überanspruchung der paravertebralen Ligamente und Muskulatur führen und myofasziale Schmerzen bedingen (Deyo, Weinstein 2001, Van Roy et al. 2001). Dennoch kann häufig kein Zusammenhang zwischen den degenerativen Veränderungen und der Schwere der Rückenschmerzen gefunden werden. Ein Grund hierfür liegt darin, dass trotz pathologischer Befunde die Spezifität und Sensitivität der modernen Bildgebung gering ist (Koes et al. 2006, Van Tulder et al. 1997).

1.2.2 Nicht-spezifischer Rückenschmerz

Die Diagnose „nicht-spezifischer Rückenschmerz“ ist eine Ausschlussdiagnose. Sie kann erst gestellt werden, wenn alle primär somatischen Ursachen ausgeschlossen wurden. Die Ursache für die Entstehung und Chronifizierung dieser Art der Rückenschmerzen ist zumeist multifaktoriell bedingt. Neben körperlichen und psychischen sind hier auch soziale Faktoren zu berücksichtigen.

Wagner et al. sehen biologische Faktoren, funktionelle Veränderungen wie z. B. Dekonditionierung durch Inaktivität, psychosoziale Stressoren und Kombinationen aus diesen als ursächlich an. Zudem berichten sie von einem häufigen Auftreten von muskuloskeletalen Begleiterkrankungen. Diese seien jedoch ohne Einfluss auf die Chronifizierung (Wagner et al. 2007). Im Gegensatz dazu sehen Mannion et al. muskuloskeletale Probleme als Hauptursache für chronischen Rückenschmerz an (Mannion et al. 2001). Zudem scheinen anhaltender, beruflicher oder privater Distress, Unzufriedenheit am Arbeitsplatz, Depression und persönliche schmerzbezogene Kognitionen sowie ein inadäquates Bewältigungsverhalten Faktoren zu sein, welche die Entstehung und Chronifizierung von Rückenschmerzen beeinflussen (Hasenbring et al. 2001, Linton 2000). Sie führen zu einem falschen Ansatz in der Schmerzbewältigung. Die Betroffenen fokussieren sich häufig auf ihren Schmerz und empfinden dadurch eine gravierende Einengung ihrer Lebensperspektive (Körner-Herwig 2004). Dies äußert sich in einem aktiven Krankheitsmanagement (häufige Arztbesuche, regelmäßige Medikamenteneinnahme, häufige Physiotherapien), Schonverhalten bzw. Überbeanspruchung in schmerzfreen Intervallen und Rückzug. Verstärkend wirkt häufig die vermehrte Zuwendung nahestehender Personen aufgrund des Leidens (sekundärer Krankheitsgewinn). Dies führt häufig zu einer Erhöhung der Auftretenswahrscheinlichkeit des Krankheitsverhaltens bzw. passiven Vermeidungsverhaltens (Flor et al. 2002). Die Vermeidung sozialer Aktivitäten und Schonhaltung führen zu erhöhter Muskelspannung oder Atrophie, was wiederum schmerzverstärkend wirkt.

Wirbelsäuleninstabilität als Ursache von chronischem nicht-spezifischem Rückenschmerz

Ein bedeutender kausaler Einflussfaktor für die Entstehung und die Chronifizierung von Rückenschmerzen ist der Verlust der Wirbelsäulenstabilität (Panjabi 1992). Derzeit ist jedoch noch unklar, ob die Defizite der Muskulatur Ursache oder Folge der Instabilität sind. Es gibt noch keinen Goldstandard zur Bestimmung der Wirbelsäuleninstabilität, wobei das von Panjabi entwickelte Modell der Wirbelsäulenstabilität jedoch weitgehend akzeptiert wird. Der Schwerpunkt der spinalen Stabilisierung wird hierbei auf drei Subsysteme gelegt: ein passives, ein aktives und ein neuronales Kontrollsystem (Panjabi 1992, Hildebrandt 2011).

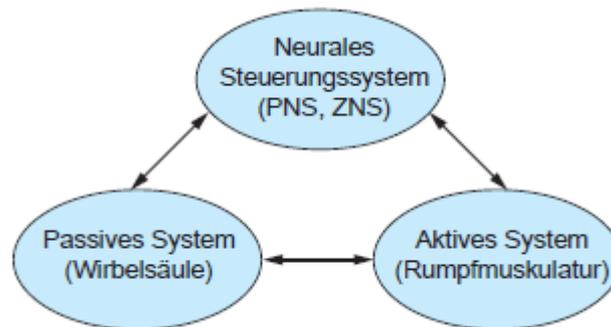


Abb. 1: Wirbelsäulenstabilitätsmodell nach Panjabi

Auch Hildebrandt sieht Kreuzschmerz u.a. als Folge von mangelnder Steuerung und Kontrolle des spinalen Stabilitätssystems. Ursächlich hierfür seien strukturelle und funktionelle Störungen der Wirbelsäule mit nachfolgender Schwäche, Ermüdung und Koordinationsdefiziten sowie einer Dekonditionierung. Daher sei die muskuläre Leistungskapazität nur ein Teilaspekt im Prozess der Entstehung und Chronifizierung (Hildebrandt 2011). Zudem ist die Kontrolle der spinalen Stabilität abhängig von der Integration passiver Elemente und der umgebenden Muskeln (Hodges et al. 2003). Die Arbeitsgruppe um Hodges konnte zeigen, dass das Zusammenspiel der Körperstammuskulatur von experimentell induziertem Schmerz beeinflusst wird. Hieraus lässt sich ableiten, dass einige Änderungen der motorischen Kontrolle bei chronischem Rückenschmerz ihre Ursache im Auftreten von Schmerzen haben könnten (Hodges et al. 2003).

Defizite der Rückenmuskulatur bei chronischem nicht-spezifischem Rückenschmerz

In vielen Untersuchungen wurde bei der Objektivierung der Muskelkraft mittels isometrischer und isokinetischer Methoden parallel zum Ausmaß der Chronifizierung eine Abschwächung der Rückenstrecker gefunden (Hildebrandt et al. 1997, Pflingsten et al. 1997, Saur et al. 1997). Saur et al. berichten über erhebliche muskuläre Defizite, wobei die Rückenstreckerkraft deutlich schlechter sei als die Rumpfheberkraft. Auch Hodges et al. berichten über eine veränderte Rumpfmuskelkoordination bei chronischen Rückenschmerzen. Diese Veränderung sei variabel (Hodges et al. 2003). Während sie jedoch keine Ursache-Wirkung-Beziehung herzustellen vermögen, führen Saur et al. dieses überwiegende Rückenstreckerdefizit auf einen Dekonditionierungsprozess zurück. Hierbei komme es zu einer schmerzbedingten reflektorischen Abwehrspannung und Muskeltonuserhöhung, welche zu Koordinationsdefiziten der Rückenstrecker führe. Hieraus resultiere ein großes Flexoren-Extensoren-Verhältnis (Saur et al. 1997). Eine schnellere Ermüdbarkeit der Rückenmuskulatur bei chronischen Rückenschmerzpatienten im Vergleich zu Normalpersonen wurde von Janisch beschrieben (Janisch 2003).

Zudem haben Patienten mit chronischen Rückenschmerzen Probleme bei der Körperpositionierung im Sinne sensomotorischer und propriozeptiver Defizite bei der Bewegung des Rumpfes (Descarreau, Blouin und Tensdale 2005; Hildebrandt 2011). Hildebrandt sieht die Koordination der Rumpfmuskulatur als wichtigen Faktor zur Aufrechterhaltung des chronischen Rückenschmerzes und eventuell auch für dessen Entstehung. Das Auftreten einer abgeschwächten Beinmuskulatur sowie eines Ungleichgewichtes der Rumpfmuskulatur (Rückenmuskulatur<Bauchmuskulatur) erhöhe das Risiko zukünftiger Rückenschmerzen (Hildebrandt 2011). Die Arbeitsgruppen um Mannion und Magnussen konnten sogar eine Korrelation der Schwäche der Rumpfmuskulatur mit Schmerz zeigen (Mannion et al. 2001, Magnussen et al. 2004).

1.3 Behandlung, Behandlungserfolg und Prognose

In den letzten Jahren ist ein Wandel in der Therapie der chronischen Rückenschmerzen zu beobachten. Galt es zuvor, sich zu schonen und möglichst jegliche Belastung des Rückens zu vermeiden, treten nun aktive Konzepte in den Mittelpunkt. Das Ziel besteht in der Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit („functional restoration“), was am erfolgreichsten durch aktive, verhältnisverändernde und funktionsverbessernde Konzepte erreicht werden kann (Hildebrandt 2011). Um dieses Ziel zu verwirklichen, müssen individuelle, iatrogene sowie gesundheits- und sozialpolitische Bedingungen berücksichtigt werden (Pfungsten et al. 1997).

Die Effekte dieser multimodalen Schmerztherapie auf die Schmerzstärke und Schmerzdynamik, Depressivität, Lebensqualität, Funktionskapazität sowie auf die Anzahl der AU-Tage, konnten von der Arbeitsgruppe um Schiltenswolf gezeigt werden (Meier, Neugebauer und Schiltenswolf 2009). Auch in weiteren deutschen Studien z. B. aus Dresden und Dachau wurde die Wirksamkeit des multimodalen Vorgehens bestätigt. Anhand derer Ergebnisse kann sowohl von einer kurzfristigen als auch von einer mittel- bis langfristigen Wirksamkeit der Therapie ausgegangen werden (Pöhlmann et al. 2009, Schütze et al. 2009). Allerdings kommt auch der subjektiven Beeinträchtigung des Patienten eine entscheidende Bedeutung zu. Sie ist eine Variable, welche in ihrer Ausprägung und Veränderbarkeit wesentlich den Behandlungserfolg mitbestimmt (Pfungsten et al. 1997).

Heute gibt es viele Bestrebungen, die verschiedenen Behandlungskonzepte zu evaluieren, um so die Vorhersage eines Behandlungserfolges zu ermöglichen. Dies würde dazu beitragen, das therapeutische Vorgehen zu modifizieren und zu optimieren. Die Untersuchungsergebnisse zu prognostischen Kriterien sind jedoch sehr heterogen. Sie betreffen sowohl soziobiographische und arbeitsbezogene als auch psychosoziale Faktoren. Diese Befunde sind kritisch zu sehen und nicht miteinander vergleichbar, da jeweils

Unterschiede im Studiendesign, in der Behandlungsausführung etc. vorliegen (Pfungsten et al. 1997).

Die Prognose des chronischen Rückenschmerzes ist ebenfalls multifaktoriell bedingt. Mit fortgeschrittener Chronizität wird die Wahrscheinlichkeit eines Behandlungserfolges geringer. Zudem ist die Prognose abhängig vom Bildungsstand, Rentenwunsch bzw. einen bestehender Berentung und der Dauer der AU-Tage. Eine Steigerung von Kraft und Ausdauer sowie Beweglichkeitsparameter allein ist keine Voraussetzung zur Wiederherstellung der Arbeitsfähigkeit. Der Behandlungserfolg hängt im Wesentlichen von der subjektiv erlebten Funktionsbeeinträchtigung und deren Verbesserung ab (Pfungsten et al. 1997).

1.4 Funktions- und Leistungsdiagnostik

Nachdem es nun zu einem Wandel der Therapiestrategien in der Behandlung des chronischen Rückenschmerzes gekommen ist, benötigt man geeignete Assessmentmethoden, um diese Konzepte zu evaluieren und weiterzuentwickeln. Hier kommt der Funktions- und Leistungsdiagnostik eine besondere Bedeutung zu. Sie soll zur Messung der Behandlungseffektivität beitragen. Hildebrandt beurteilt die Messung der Funktionskapazität zur Evaluation des Behandlungserfolges sogar als aussagekräftiger und relevanter, als die Messung der Veränderung der Schmerzintensität (Hildebrandt 2011). Die bisherigen Methoden zur Quantifizierung der körperlichen Leistungsfähigkeit sind jedoch kritisch zu sehen. Es handelt sich vorwiegend um wissenschaftlich angewandte Methoden, welche einen hohen Zeitaufwand erfordern und dazu noch wenig spezifisch sind. Sie sind daher im klinischen Alltag kaum nutzbar (Newcomer et al. 2000; Radebold et al. 2001; Hodges et al. 2003). Daher sind neue spezifische, praktikable und zeiteffiziente Assessmentmethoden zu entwickeln, um die Behandlungseffektivität auch im klinischen Alltag beurteilen zu können.

1.4.1 Funktionskapazität

Die Funktionskapazität ist die Verbindung zwischen der objektiven körperlichen Beeinträchtigung, dem subjektiven Erleben dieser Beeinträchtigung und des Schmerzes (Hildebrandt 2011). Diesen Zusammenhang zwischen den Dimensionen des Schmerzerlebens, des Beeinträchtigungserlebens und der Funktionskapazität stellt Hildebrandt wie folgt dar (vgl. Abb. 2):

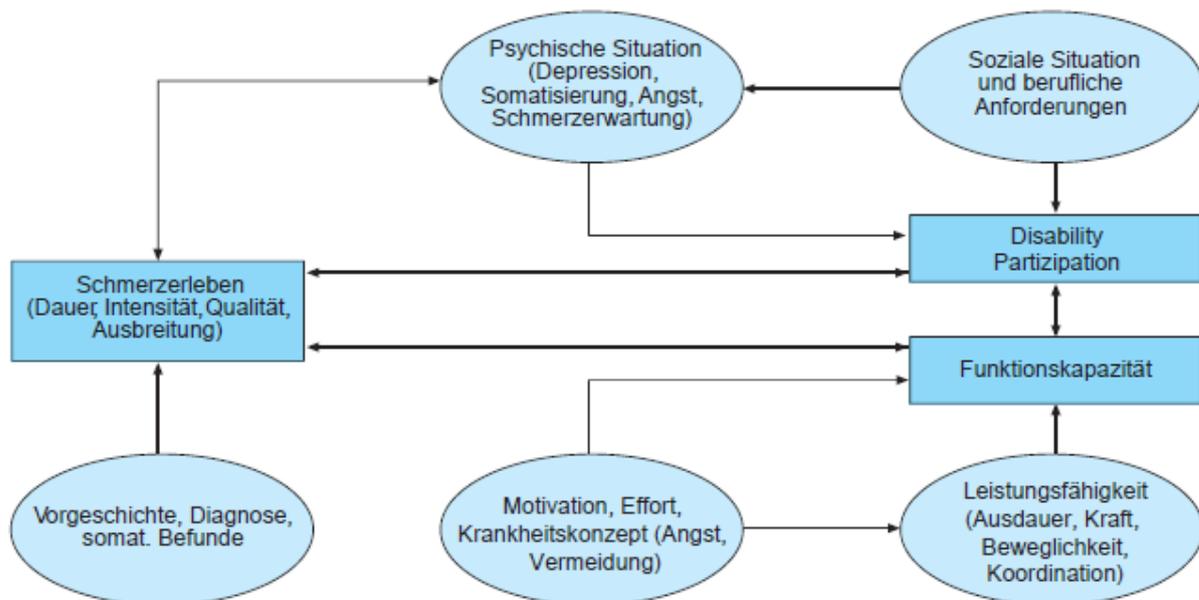


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Beeinträchtigungserleben, Schmerzerleben und Funktionskapazität
Nach Hildebrandt 2011

Anhand dieser Zusammenhänge ist zu erkennen, dass eine verbesserte Funktionskapazität und eine verminderte Beeinträchtigung auch eine verringerte Schmerzintensität zur Folge haben. Zudem haben auch viele psychosoziale Faktoren (z.B. Depression, Angst, berufliche Anforderungen) Einfluss auf die Funktionskapazität und das Schmerzerleben, was die Indikation zur Durchführung multimodaler Behandlungskonzepte unterstützt. Die Rahmenbedingungen dieser Therapiekonzepte sollten daher ebenfalls bei der Erstellung geeigneter Assessmentinstrumente berücksichtigt werden.

Eine optimale Methode zur Beurteilung der Funktionskapazität soll die Diagnostik, die Therapieindikationen und die Aussagen über die Effektivität der Therapiesteuerung erleichtern. Eine solche Methode würde die Behandlung chronischer und subakuter Rückenschmerzen optimieren und damit letztlich helfen, eine Chronifizierung des Rückenschmerzes zu vermeiden (Hildebrandt 2001).

1.4.2 Funktionstests

Allgemeines

Funktionstest sind objektive Verfahren zur Evaluation physikalischer Funktionen (Andersson et al. 2000). Laut Pfingsten et al. sind sie ein praktikabler, zeiteffizienter und sicherer Weg, um Funktionalität im täglichen Leben zu prüfen (Pfingsten et al. 2005). Sie messen Bewegungsaufgaben des täglichen Lebens, welche durch (chronischen) Rückenschmerz beeinflusst werden. Hierzu gehören unter anderem Laufen, Treppensteigen und Aufstehen aus sitzender oder liegender Position (Andersson et al. 2000). Aufgrund der individuellen Variabilität der körperlichen Beeinträchtigung sind Funktionstests mit derartig komplexen

Bewegungsabläufen für die Beurteilung der Fähigkeiten und deren Einschätzung besonders gut geeignet. Es ist allerdings zu beachten, dass die Bewegungsqualität sehr variabel und individuell ist und somit nicht einfach kategorisiert werden kann. Auch Gesunde weisen diesbezüglich eine gewisse Variabilität auf. Zudem ist die Aktivitätskapazität vielmehr vom physischen Konditionszustand und psychischen Faktoren, wie z. B. Motivation, Anstrengungsbereitschaft, Angst und emotionales Empfinden, abhängig (Lüder et al. 2006).

Neben den „objektiven Testverfahren“ werden zur Quantifizierung der körperlichen Funktionskapazität häufig Fragebögen als Selbstbeurteilungsinstrumente eingesetzt. Die Selbstbeurteilung der schmerzbedingten Beeinträchtigung ist von hoher prognostischer Bedeutung und eignet sich sehr gut für den Nachweis therapeutischer Effizienz (Pfungsten und Nilges 2011). Die Wiederherstellung der aktiven Funktionsfähigkeit stellt eine wichtige Voraussetzung für den Behandlungserfolg dar (s. Kapitel 1.4.2 Fragebögen).

Beispiele für objektive Testverfahren

Bei manuellen Untersuchungen zur Rumpfbeweglichkeit kommen Tests, wie z. B. der Finger-Boden-Abstand oder die Untersuchung nach Schober, zur Anwendung (Hildebrandt 2011). Der Finger-Boden-Abstand ist ein Maß für die Flexionsfähigkeit der Lendenwirbelsäule. Bei maximaler Flexion wird der Abstand zwischen den Fingern und dem Boden gemessen. Ein optimales Ergebnis wäre ein Abstand von 0 cm, jedoch ist dies stark von der Dehnbarkeit der ischiokruralen Muskeln und der Beweglichkeit der Hüfte abhängig. Bei der Untersuchung nach Schober wird beim stehenden Patienten ausgehend von dem Wirbel S1 eine Strecke 10 cm nach kranial abgemessen. Dann wird die Verlängerung dieser Strecke bei maximaler Beugung bestimmt. Alle Werte unter 3 cm sind als pathologisch zu werten. Diese Tests haben sich jedoch als stark untersucherabhängig erwiesen und zeigten eine geringe Interrater-Reliabilität auf. Die Spezifität dieser Messungen ist fraglich, da auch bei einem gesunden Kollektiv mehr oder weniger starke Einschränkungen zu beobachten sind. Zudem ist die Rumpfbeweglichkeit generell bei Patienten mit chronischem Rückenschmerz eingeschränkt, individuell sehr unterschiedlich und weiterhin abhängig von der Tageszeit. Es gibt außerdem keine Korrelation mit der Funktionseinschränkung, dem subjektiven Erleben der Defizite oder des Schmerzes (Hildebrandt 2011). Auch die Inklinometriemessung der Rumpfbeweglichkeit sagt trotz reproduzierbarer Daten wenig aus (Saur et al. 1996).

Ein weiteres Maß ist die Beinlängendifferenz. Sie kann als Ursache für Rückenschmerzen als Folge einer Formveränderung der Wirbelsäule gesehen werden. Die Messung erfolgt statisch mittels Maßband, dem Röntgen des Beckens oder stereometrischer Darstellung des Rückens. Der Ausgleich mittels Schuhsohlenerhöhung wird kontrovers diskutiert. Ein

Ausgleich sollte erst ab einer Differenz von > 20 mm stattfinden. Jedoch ist die Indikation hierzu abhängig von der Chronizität und dem Alter. Hierbei gilt: Je länger die Veränderung besteht und je jünger der Patient, desto besser.

Zur Objektivierung der Folgen der Beinlängendifferenz (wie z.B. Skoliosen) wird die statische Rumpfoberflächenmessung mittels stereometrischer Verfahren angewendet. Hierzu kommen z.B. die Morr -Topographie, die Photogrammetrie/Raster-Stereometrie, das OpTRImetrie-System oder das ISIS-System zur Anwendung (Asamoah et al. 2000; Hildebrand 2011). Hagemann konnte in seiner Dissertation zeigen, dass es trotz der Ergebnisse der Rumpfoberflächenmessung zu keiner Übereinstimmung bei der Beurteilung der Korrekturma e durch verschiedene Therapeuten kam (geringe Interrater-Reliabilität). Zudem trugen die Ergebnisse auch zu keiner einheitlichen Behandlungsstrategie (mit oder ohne Beinl ngenausgleich) bei (Hagemann 1998).

Es gibt jedoch im Zuge der technischen Fortentwicklung auch Neuerungen im Bereich der Messung von Funktionseinschränkungen: Bei dem Epionics SPINE[®] handelt es sich um ein neues, vielversprechendes Gerät zur dynamischen Messung der Rumpfbeweglichkeit. Dieses portable System erlaubt eine kontinuierliche, zeit- und ortsauflösende Messung der R ckenbewegung im thorakalen und lumbalen Bereich über einen längeren Zeitraum. Hierzu werden flexible Sensorstreifen mittels Hohlplaster paravertebral am Rücken fixiert und deren Verformungsdaten der Wirbelsäule in einer Speichereinheit am Patienten abgelegt. Diese werden später mittels des PCs ausgewertet.



Abb. 3: Epionics SPINE[®] am Patienten

Eine Aufzeichnung ist bis zu 24 Stunden möglich und erlaubt so auch die Nutzung im Arbeitsalltag. Bisher gibt es valide Daten zur kontinuierlichen Flexion und Extension (Taylor, Consmüller und Rohlmann 2010), weitere Validierungen laufen. Das Ziel der Anwendung dieses Gerätes ist es, die komplexe Funktion der Wirbelsäule bei Patienten und Gesunden im Alltag, bei der Arbeit und auch während der Rehabilitation zu erfassen.

1.4.3 Fragebögen (subjektive Testverfahren)

Fragebögen sind Selbstbeurteilungsinstrumente, welche die Quantifizierung eines bestimmten Merkmals erlauben. Aufgrund des geringen Zeitaufwandes zur Durchführung und Auswertung sind sie als ökonomische Assessmentmethode zu sehen. Anhand des Ergebnisses lässt sich die untersuchte Person hinsichtlich der betrachteten Merkmalsausprägung im Verhältnis zur Bevölkerung oder einer Referenzgruppe einordnen (Pfungsten und Nilges 2011). Jedoch muss beachtet werden, dass das Ergebnis der Fragebogenuntersuchung nur eine Momentaufnahme in der Diagnostik abbildet und eine Aussage bezüglich der Ursache des Merkmals nicht möglich ist (Pfungsten und Nilges 2011). Des Weiteren sollte das Zeitfenster, auf das sich die Antworten beziehen, beachtet werden. Eine grobe Einteilung dieser Assessmentmethode erfolgt in krankheitsspezifische Fragebögen, welche sowohl syndromspezifisch als auch syndromübergreifend sein können, und in Fragebögen zur Lebensqualität. Diese messen die generellen Beeinträchtigungen in verschiedenen Dimensionen.

Die vier am häufigsten in Deutschland eingesetzten krankheitsspezifischen Verfahren sollen im Folgenden kurz beschrieben werden.

Der Funktionsfragebogen Hannover-Rücken (FFbH-R) ist das in Deutschland am häufigsten eingesetzte Selbstbeurteilungsinstrument. Er ist ein für Rückenschmerzen spezifisches Verfahren, welches zwölf Items umfasst. Diese sind als Fähigkeitsfragen formuliert und beinhalten verschiedene Verrichtungen des Alltages, wie z.B. einstündiges Sitzen auf einem ungepolsterten Stuhl oder 100 m schnelles Laufen. Die Antwortmöglichkeiten umfassen drei Stufen („Ja, ich kann es noch ausführen“, „Ja, aber nur mit Mühe“ und „Nein.“). Das Ergebnis ist der prozentuale Anteil an der Funktionskapazität, wobei ein hoher Wert einer niedrigen Beeinträchtigung entspricht (Kohlmann und Raspe 1994).

Ein weiteres rüchenschmerzspezifisches Verfahren ist der Disability Questionnaire von Roland & Morris (RMDQ). Er umfasst 24 Items, welche verschiedene Verhaltensweisen im Alltag beschreiben (z.B. „Wegen meiner Rückenschmerzen bleibe ich die meiste Zeit zu Hause.“). Die Antwortmöglichkeiten sind zweistufig und gliedern sich in „Ja“ und „Nein“. Bei Zustimmung wird ein Punkt vergeben, so dass eine maximale Punktzahl von 24 erreicht werden kann (Exner und Kehl 2000).

Neben den syndromspezifischen Verfahren (z.B. FFbH-R und RMDQ) gibt es auch syndromübergreifende Assessmentinstrumente. Zu diesen gehören der Pain Disability Index (PDI) und der Oswestry-Fragebogen. Der Pain Disability Index umfasst 7 Items, welche die Bereiche familiäre und häusliche Verpflichtungen, Erholung, soziale Aktivitäten, Beruf, Sexualleben, Selbstversorgung und lebensnotwendige Tätigkeiten umfassen. Der Patient gibt hier anhand einer elfstufigen Ratingskala („0 = keine Behinderung“ und „10 = völlige Behinderung“) den Einfluss der Schmerzen auf die genannten Lebensbereiche an (Dillmann et al. 1994).

Der Oswestry Fragebogen beinhaltet 60 Items aus 10 Bereichen täglicher Aktivität (Sitzen, Gehen, Stehen, Sozialleben, Reisen, Körperpflege, Heben, Schlafen, Sexualleben, Gesellschaftsleben und Schmerzerleben). Für jeden Bereich werden sechs Aussagen formuliert, welche das Ausmaß der Beeinträchtigung abbilden (z.B. „Ich kann auf einem Stuhl sitzen so lange ich will.“). Somit erlaubt dieser Fragebogen eine globale Einschätzung der Beeinträchtigung in allen Bereichen des täglichen Lebens. In Einzelbereichen ist er jedoch wenig differenziert (Mannion et al. 2006).

Zur Beurteilung der Lebensqualität gibt es die auf dem Bedürfnismodell von Maslow beruhenden sogenannten „Health-related-quality-of-life“-Fragebogenkataloge. Diese krankheitsübergreifenden Lebensqualitätsinstrumente finden breite Anwendung in Bevölkerungsstudien bei Untersuchungen fast aller medizinischer Erkrankungen. Viele Studien haben gezeigt, dass sie bei adäquatem Forschungseinsatz einen hohen analytischen und prädiktiven Wert haben können (Gerbershagen et al. 2002).

Für viele Erkrankungen gibt es zusätzlich krankheitsspezifische Messinstrumente. Sie werden vor allem für die Ergebnisprädiktion eingesetzt und oft aus qualitativen Patienteninterviews abgeleitet (Gerbershagen et al. 2002). Die am häufigsten eingesetzten Fragebögen sind das Sickness-Impact-Profile (SIP) (Berger et al. 1981), das Nottingham-Health-Profile (Hunt et al. 1980+1986) und der Short-Form-36 (SF-36) von Kohlmann et al. 1997 (Ware 1992; Ware und Sherbourne 1992; Ware 1994+1994a).

Bereits seit den siebziger Jahren werden Fragebögen als spezifische Instrumente zur Erfassung körperlicher Beschwerden, Depressions- und Angstsymptomatik sowie verminderter körperlicher Aktivität im Alltag angewendet. In den vergangenen 20 Jahren kommen jedoch vermehrt Fragebögen zur Anwendung, welche mehrdimensional körperliche, psychische und soziale Bereiche evaluieren (Gerbershagen et al. 2002). Sie werden zur Beurteilung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität eingesetzt. Es handelt sich auch hier um Selbstbeurteilungsinstrumente, wobei subjektive Gesundheitsindikatoren mit der gesundheitsbezogenen Lebensqualität gleichgesetzt werden. Diese wird von Bullinger

(1981) als psychologisch-soziologisches Konstrukt mit den vier Komponenten: psychisches Befinden, körperliche Verfassung, soziale Beziehungen und funktionale Kompetenz der Befragten beschrieben. Hieran ist zu erkennen, dass die Selbstbeurteilung der Beeinträchtigung des Befragten durch vielfältige psychologische Faktoren beeinflusst wird.

Die „funktionale Kompetenz“ ist nur schwerlich mit einem subjektiven Assessmentinstrument wie einem Fragebogen zu erfassen. Dieser misst allein die subjektive Selbsteinschätzung, welche nicht der objektiven Leistungsfähigkeit entsprechen muss, sondern möglicherweise etwas ganz anderes misst (Lüder et al. 2006; Hildebrandt 2011, Pfingsten und Nilges 2011). Die Arbeitsgruppen um Hägg und Lee konnten zudem zeigen, dass die selbst beurteilte Leistungsfähigkeit nicht gleich der realen Verhaltenskapazität ist (Hägg et al. 2001; Lee et al. 2001). Lee et al. verglichen 2001 die subjektive Einschätzung der Patienten und klinische Tests zur Funktionskapazität. Hierzu nutzen Sie zum einen den Roland-Morris-Disability-Questionnaire und zum anderen eine „Physical-performance“-Testbatterie bestehend aus 6 Tests. Es wurde eine moderate Korrelation zwischen beiden Testtypen festgestellt. Diese wurde darauf zurückgeführt, dass beide Testarten die gleiche Ebene messen. Ähnliches ließ sich auch in anderen Studien zeigen. Z.B. wurde gezeigt, dass der RMDQ gut mit den klinischen Symptomen sowie mit anderen Fragebögen korreliert (Patrick et al. 1995, Stratford et al. 1994; Beurskens, de Vet und Koke 1996; Riddle, Stratford und Binkley 1998). Beides kann von psychosozialen Faktoren beeinflusst werden. Lee et al. schlussfolgern hieraus, dass beide Testtypen nicht für sich allein die kompletten physikalischen Funktionen abbilden können und aus diesem Grund multidimensionale Tests zur Anwendung kommen sollten (Lee et al. 2001).

Es ist jedoch zu beachten, dass eben diese subjektive Einschätzung der körperlichen Funktionsfähigkeit und der Schmerzen von erheblicher prognostischer Bedeutung für die Behandlung des chronischen Rückenschmerzes ist. Daher gilt es bei der Therapie dieses Krankheitsbildes sowohl die Funktionalität als auch das Selbstbild des Patienten über diese Funktionalität zu verbessern.

1.5 Posturographie

Verschiedene Autoren haben eine verminderte Balancefähigkeit bei Patienten mit chronischen Rückenschmerzen festgestellt (Brumage et al. 2000, Nicola et al. 2004, Popa et al. 2007, Hamaoui und Bouisset 2004, Lorimer und Hodges 2005). Eine Einschränkung der Balancefähigkeit hat direkten Einfluss auf die Standstabilität. Um diese zu wahren, wird eine adäquate Koordination der Haltemuskulatur des Rumpfes und der unteren Extremität benötigt. Es findet sich ein enger Zusammenhang dieser beiden Variablen: Ist die muskuläre

Koordination gestört, verschlechtert dies auch die Standstabilität. Bei Chronifizierung der Dyskoordination ist klinisch auch die Standstabilität dauerhaft nachteilig beeinflusst. Eine Objektivierung der Standstabilität und ihrer Störungen kann man mittels Posturographie durchführen.

Allgemeines zum Verfahren der Posturographie

Allgemein werden Verfahren zur Haltungsanalyse als Posturographie bezeichnet. Mittels dieses Verfahrens werden unter anderem Körperschwankungen registriert, weshalb sie zur Diagnostik, zur Verlaufskontrolle entsprechender Störungen und zur Objektivierung von Therapieergebnissen eingesetzt werden (Diener und Dichgans 1988).

Unter Posturographie (aus dem Englischen „posture“ = Haltung) wird insbesondere die Erfassung der Körperschwankungen im aufrechten Stand subsummiert. Mit ihrer Hilfe können zwei wesentliche Funktionen der Gesamtkörperkoordination, die Gleichgewichts- und die Haltungskontrolle, objektiv überprüft werden. Dabei ist die Posturographie ein hochgenaues, untersucherunabhängiges und standardisierbares diagnostisches Verfahren zur Kontrolle der Koordinationsfähigkeit (Fired und Arnold 1987, Witte und Recknagel 1997, Forseman et al. 2007).

Entwicklung und Einteilung

Zunächst stand der Begriff der Posturographie für die direkte Messung von Weggrößen zur Lage- und Bewegungsanalyse ausgewählter Körperpunkte am Kopf oder Rumpf (Fitzgerald et al. 1993, 1994, Witte und Recknagel 1997). Man nannte dies direkte Posturographie. Ihre Entwicklung begann zu Anfang des vorigen Jahrhunderts. Eines der ersten mechanisch funktionierenden Geräte wurde 1922 von Miller konstruiert. Er befestigte vier Fäden an einem Körperpunkt, von dem aus die Fäden in alle vier Himmelsrichtungen durch ein Zählwerk liefen. Dadurch konnten die Körperschwankungen direkt registriert werden. Bei der Kraniographie nach Claussen wird die Körperschwankung mittels Leuchtspuren verfolgt, die ein Lämpchen auf Helm und Schultern der Untersuchten bei Langzeitbelichtung eines Polaroidfilms erzeugten (Stoll et al. 1986). Die Bedeutung der direkten Posturographie ist heute nur noch in geschichtlichem Zusammenhang zu sehen.

Die Entwicklung der indirekten Posturographie begann 1964 mit der Herstellung des ersten elektronischen Posturometers durch Baron und Mitarbeiter. Zur Messung wurden erstmals Dehnungsmessstreifen zur Aufzeichnung von Druckkräften verwendet. Diese Druckkräfte wurden von einer auf einer Fußplattform stehenden Person durch Körperschwankungen erzeugt. Es erfolgte die Errechnung eines Statokinesiogramms, das die Bahn des

Körperschwerpunktes dokumentierte, und eines Stabilogramm, in dem die Druckschwankungen in antero-posteriore und laterale Richtung aufgezeichnet wurden.

Die indirekte Posturographie ermöglicht es, über die Bestimmung des Druckmittelpunktes Aussagen bezüglich der Stabilität des Probanden zu machen. Die Lage des Druckmittelpunktes entspricht der Gewichtsverteilung des Körpers im Stand auf zwei oder mehr Kraftmessplatten. Ist das Gewicht auf beispielsweise zwei Kraftmessplatten gleichmäßig verteilt, befindet sich der Druckmittelpunkt genau zwischen den Platten auf einer gedachten Symmetrieachse. Schwankt ein Patient zur Seite, geht das mit einer entsprechenden Gewichtsverlagerung einher und der Druckmittelpunkt wandert ebenfalls zur Seite. Gleiches gilt für Schwankungen nach vorne oder hinten.

Der mit den Kraftmessplatten ermittelte Druckmittelpunkt darf nicht verwechselt werden mit dem Körperschwerpunkt (Witte und Recknagel 1997).

Heute häufig benutzte Geräte sind u. a. die von Vestibular Technologies entwickelte CAPS (Comprehensive Assessment of Postural Systems), die Fußplatten der Firmen Tönnies und Kistler als auch der Balance-X-Sensor der Firma Soehnle Professional. Allen heutigen Systemen gemeinsam ist die Benutzung piezoelektrischer Bauteile in den Fußplatten, die bei auf sie einwirkenden Druckkräften eine proportionale Widerstandsveränderung aufweisen. Damit wird die Bewegung des Körperdruckpunktes errechnet und seine Auslenkungen nach anterior, posterior sowie lateral indirekt verfolgt.

Des Weiteren kann man statische und dynamische Posturographie unterscheiden: Bei der statischen Posturographie werden die spontanen Körperschwankungen aufgezeichnet und damit das Ausmaß der natürlichen Körperunruhe quantifiziert. (Diener und Dichgans 1988). Die Fußplatte ist bei der statischen Posturographie stets unbeweglich. Ein häufig in diesem Zusammenhang angewendeter Test ist der Romberg-Test. Hierbei steht der Proband in aufrechter Körperhaltung, schulterbreit, mit locker an der Seite hängenden Armen und offenen oder geschlossenen Augen auf der Kraftmessplatte. Für einen festgelegten Zeitraum (meist 15 – 25 Sekunden), werden dann die spontanen Körperschwankungen aufgezeichnet (Tossavainen et al. 2006, Hamamoui und Boisset 2004, Diener und Dichgans 1988).

Bei der dynamischen Posturographie wird die Stabilisierung des aufrechten Standes nach passiver Auslenkung der Standfläche beurteilt. Dies kann zum einen durch Kippung der Messplatte in seitlicher und anterior-posteriorer Position ermöglicht werden. Somit können die Platten schwankadaptiert mitbewegt werden, um die Afferenzen der Gelenkrezeptoren und der Oberflächensensibilität zu stören. Andererseits kann man die Platten auch gezielt auslenken, um die Reaktionsfähigkeit des Gleichgewichtssystems zu testen. Darüber hinaus kann die Auslenkung des Schwerpunktes auch durch aktive Bewegungen (z.B. Kniebeuge) erfolgen.

Sowohl die statische als auch die dynamische Posturographie finden klinische Anwendung. Anwendungsgebiete finden sich z. B. bei der Differenzierung zerebellärer Ataxien, zur Dokumentation von Kleinhirnschädigungen aufgrund von Medikamenteneinnahme oder Alkoholmissbrauch, zur Verlaufskontrolle bei Parkinsonerkrankungen, zur Detektion vestibulärer Erkrankungen und zur Beurteilung des Sturzrisikos bei Älteren oder Osteoporose-Patienten (Fired und Arnold 1987, Diener und Dichgans 1988, Nieschalk, Delang und Stoll 1995, Weber, Holzmann und Vieregge 2000, Schwesig et al. 2006).

Die statistische Äquivalenz der Sensitivität beider Verfahren wurde bereits 1995 von Di Fabio gezeigt (Di Fabio 1996).

Auswertungsparameter

Anhand der gewonnenen Daten können Parameter wie die Stehleistung, Bewegungsleistung, Maximalkraft, Kraftvektorfläche (Balancefläche des Körperschwerpunktes), Spurlänge (Auslenkung des Schwerpunktes ausgehend vom Ausgangspunkt) oder Muskelleistungsfrequenz (Reaktionsgeschwindigkeit der posturalen Muskulatur zur Aufrechterhaltung des Massenschwerpunktes) erhoben werden.

Bei der Muskelleistungsfrequenz werden verschiedene Frequenzbereiche unterschieden (Fourir-Analyse), welche unterschiedlichen posturalen Systemen zugeordnet werden können (Schwesig et al. 2006). Die Fourir-Analyse ist nach dem französischen Physiker Joseph Fourir (1768 – 1823) benannt und findet in verschiedenen naturwissenschaftlichen Bereichen Anwendung (z.B. bei Differenzialgleichungen oder der Theorie der Schwingungen). Bei diesem mathematischen Algorithmus wird eine gegebene periodische Funktion $f(x)$ mit der Periode $T=2\pi/v$ exakt oder angenähert durch eine trigonometrische Summe ersetzt (Eichler, Kronfeldt und Sahm 2001). Von Oppenheim et al. wurden vier Frequenzbereiche klassifiziert und diese aufgrund der Forschungsergebnisse von DeWitt und Taguchi den posturalen Subsystemen zugeordnet (Schwesig et al. 2006, Oppenheim et al. 1999, Taguchi 1978, DeWitt1972).

Frequenzbereich [Hz]	Posturales System
0,003 – 0,1	Visuelles System
0,1 – 0,5	Peripheres Vestibularsystem
0,5 – 1,0	Propriozeptives System
1,0 und höher	Zentrales, zerebelläres System

Tab. 1: Funktionelle Frequenzbereiche der Fourir-Analyse nach Oppenheim

Auf Basis dieser Einteilung ist es möglich, anhand der Muskelleistungsfrequenzen Rückschlüsse auf die Ursache der Schwankungen des Schwerpunktes zu ziehen.

Probleme der Posturographie

Bei der Posturographie ergeben sich regelmäßig Schwierigkeiten bei der Interpretation der Ergebnisse. Die Aussage darüber, ab wann ein Befund als pathologisch anzusehen ist, ist nicht leicht zu treffen. Aufgrund der Tatsache, dass das Ergebnis einer posturographischen Untersuchung mehrere verschiedene Parameter liefert, kann man keine allgemeingültige Aussage bezüglich des Tests treffen. Es gibt keinen Summenscore, so dass die einzelnen Parameter meist getrennt voneinander beurteilt werden müssen.

Orientierend am Schwerpunkt der jeweiligen Fragestellung werden vermehrt die Parameter Spurlänge, Kraftvektorfläche und Muskelleistungsfrequenz zur Auswertung heran gezogen (Fried und Arnold 1987, Diener und Dichgans 1988, Weber, Holzmann und Vieregge 2000, Forsman et al. 2007). Da allerdings erhebliche Unterschiede zwischen den Messprotokollen verschiedener Arbeiten bestehen, lassen sich die Ergebnisse nicht verallgemeinern. Bezüglich der Reliabilität der statischen Posturographie stellt Bauer fest, dass diese sehr von dem verwendeten Messprotokoll abhängt (Bauer 2008).

Allein die große Anzahl verschiedener Kraftmessplattensysteme mit ihrer jeweiligen eigenen Computersoftware erschwert allgemeingültige Aussagen bezüglich der Ergebnisse und verhindert letztlich ihre Vergleichbarkeit. Letztlich sollten zunächst für jede Kraftmessplatte eigene Referenzwerte erstellt werden.

Zudem muss auch beachtet werden, dass für die Erhaltung des aufrechten Standes komplexe Regulationsmechanismen erforderlich sind. Hierzu gehören die Propriozeption sowie das visuelle und das vestibuläre System (Tossavainen et al. 2006, Popa et al. 2007). Daher muss die Beurteilung der Gleichgewichtsregulation, durch über die Fußsohle abgeleitete Veränderungen des Druckes, ebenfalls als sehr komplexes Geschehen verstanden werden.

In der vorliegenden Studie soll die Posturographie nicht zur Diagnostik einer bestimmten Erkrankung oder Differenzierung von einer zweiten benutzt werden.

Es soll in einem Vorher-Nachher-Vergleich gezeigt werden, ob sich der Balance-X-Sensor zur Evaluation eines Therapieerfolges bei Patienten mit chronischen Rückenschmerzen im Alltag einer Rehabilitationsklinik eignet.

Bis zur stichhaltigen Erklärung einzelner Posturographieergebnisse könnte eine derartige Verwendung der Posturographie eine attraktive Alternative darstellen.

1.6 Ziel der Arbeit

Zur Therapie chronischer Rückenschmerzen wird heute ein multidisziplinärer Ansatz empfohlen. Mittels multidisziplinärer Therapieformen mit biopsychosozialem Ansatz sollen die somatischen, psychischen und sozialen Faktoren der Schmerzentstehung positiv beeinflusst werden. Hierzu wird eine funktionale Wiederherstellung durch aktivierende Therapie angestrebt. Diese beinhaltet körperliches Training, verhaltenstherapeutische Elemente sowie Ergotherapie (Gatchel et al. 1992, Mayer et al. 1987, Merzoug et al. 1999, Hildebrandt und Pfingsten 2009). Laut Hüppe und Raspe fehle jedoch derzeit die Abschätzung der Effektivität des multidisziplinären Behandlungsansatzes in deutschen Rehakliniken (Hüppe, Raspe 2003).

Zur Evaluation der Effektivität der Rehabilitationsmaßnahmen stehen verschiedene Assessmentinstrumente zur Verfügung. Diese umfassen sowohl Fragebögen als Selbstbeurteilungsinstrumente in Bezug auf Schmerzparameter sowie andere Bereiche des subjektiven Befindens wie Angst, Depression, Lebenszufriedenheit, etc. Darüber hinaus kommen Fragebogenverfahren auch zur Beurteilung der Alltags-/Funktionskapazität zur Anwendung. Fragebögen sind einfach und ökonomisch einzusetzen, allerdings kann die wirkliche Funktionskapazität der betroffenen Patienten damit nicht objektiv bestimmt werden. Insofern wird allgemein der zusätzliche Einsatz von funktions- und leistungsbezogenen Tests gefordert. Diese Funktionstests haben allerdings wiederum andere Probleme. So ist die Bewegungsqualität sehr variabel und individuell und kann aus diesem Grund nicht einfach kategorisiert werden. Auch gesunde Personen weisen in ihrer Beweglichkeit eine gewisse Variabilität auf. Zudem ist laut Lüder et al. die Aktivitätskapazität vom physischen Konditionszustand und auch von psychischen Faktoren wie z.B. Motivation, Angst und emotionales Empfinden abhängig (Lüder et al. 2006). Aus diesem Grund hat die Suche nach einer ökonomischen, reliablen und validen Kombination von Fragebogenverfahren und „objektiven“ Funktionstests bisher zu keinem zufriedenstellenden Ergebnis geführt.

Eine der diesbezüglich bisher kaum untersuchten Verfahren stellt die Posturographie dar. In den vergangenen Jahren sind verschiedenste Variationen dieser Kraftmessplatten auf den Markt gekommen. Ein Vergleich der einzelnen Geräte ist zwar noch schwierig, jedoch hat diese Assessmentmethode aufgrund der Erfahrungen aus anderen Bereichen (s.o.) möglicherweise großes Potenzial, aussagekräftige Ergebnisse zum Muskelfunktionszustand zu liefern. Da die Verbesserung des Funktionszustandes der Muskulatur eine wichtige Zielsetzung in der Multimodalen Schmerztherapie ist, soll geprüft werden, ob sich die Posturographie zur Quantifizierung eines Rehabilitationserfolges eignet und sich Therapieeffekte im Vergleich zu anderen Assessmentmethoden abbilden lassen.

Durch die Studie sollen anhand einer Stichprobe von Patienten mit Rückenschmerzen aus einer Reha-Klinik folgende Fragen beantwortet werden:

- Eignet sich der Balance-X-Sensor Pro (BXS) als Assessmentinstrument im Alltag einer Rehabilitationsklinik (Praktikabilität, Objektivität)?
- Lassen sich damit z.B. muskuläre Defizite objektivieren?
- Eignet sich das Verfahren bzw. das zu entwickelnde und zu überprüfende Protokoll zur Darstellung von Rehabilitationserfolgen im Vergleich zu anderen Assessmentmethoden?

Zur Beantwortung dieser Fragen kommt der von Prof. Dr. Schneider entwickelte Balance-X-Sensor Pro (im Folgenden mit der Abkürzung „BXS“ bezeichnet) zum Einsatz. Um den BXS auf seine Aussagekraft zu überprüfen, wurde eine Testbatterie für Patienten mit chronischen Rückenschmerzen entwickelt und in einem Vorher-Nachher-Vergleich den Ergebnissen der bereits validierten Assessmentinstrumente Rückentest (RT) und Funktionsfragebogen Hannover-Rücken (FFbH-R) gegenübergestellt (vgl. Kap. 2).

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Am Beginn dieser Studie stand die Entwicklung einer geeigneten Balance-X-Sensor-Testbatterie für Patienten mit chronischen Rückenschmerzen (vgl. Kapitel 2.4).

Von August 2008 bis Mai 2009 wurden aus dem Patientengut der Rehaklinik Am Kurpark in Bad Kissingen 119 Patienten mit der Rehabilitationsdiagnose „chronischer Rückenschmerz“ (ICD M40 – M54) zur Teilnahme an der vorliegenden Studie rekrutiert. Bei der Aufnahmeuntersuchung wurde bei diesen Patienten, neben den üblichen Rehabilitationsmaßnahmen, die Durchführung eines Balance-X-Sensor (BXS)-Tests und eines Rückentests (RT) zu Beginn und am Ende des Rehabilitationsaufenthaltes terminiert. Am ersten BXS-Termin wurden die Patienten über diese Studie informiert und ihr Einverständnis zur Teilnahme eingeholt. Bei Zustimmung zur Teilnahme wurde im Anschluss an die BXS-Tests (jeweils zu Beginn und am Ende der Reha) der „Funktionsfragebogen Hannover-Rücken“ (FFbH-R) ausgegeben und vor Ort vom Patienten ausgefüllt. Die Ergebnisse der drei Assessmentmethoden wurden im Anschluss an die Studie miteinander verglichen.

2.2 Einschluss-, Ausschluss- und Abbruchkriterien

Die Aufnahme in die Studie erfolgte, wenn die Probanden sowohl unter chronischen Rückenschmerzen litten als auch die Einwilligung zur Teilnahme erteilt hatten. Bei Vorliegen einer Gehunfähigkeit, fehlender Einwilligung zur Teilnahme, eines laufenden Rentenantragsverfahrens oder einer oder mehrerer der in Tabelle 1 aufgeführten Ausschlusskriterien war eine Teilnahme an der Studie nicht möglich.

Einschlusskriterien
Patienten mit chronischem Rückenschmerz Einwilligung zur Teilnahme
Ausschlusskriterien
Patient kann nicht eigenständig stehen Keine Zustimmung zur Teilnahme Bestehender Rentenantrag Unverständnis der deutschen Sprache Frische Frakturen (bis 4 Monate)

Zustand nach Bauch- oder gynäkologischen Operationen (bis 4 Monate)
Akut operationswürdige Befunde
Narbenbrüche
Missbildungen der Wirbelsäule
Schwere Gefäßerkrankungen
Schwere Herz- und Kreislauferkrankungen
Schwere entzündliche Erkrankungen im akuten Schub
Osteoporose mit < 80 % Knochendichte
Akuter Bandscheibenvorfall mit Beschwerden
Progressive neurolog. Symptomatik
Netzhautablösung
Ansteckende Krankheiten
Progrediente Instabilität der Wirbelsäule
Progress. neurolog. Symptomatik
Bekannte, symptomatische Gonarthrose
Abbruchkriterien
Patient kann nicht mehr eigenständig stehen (z.B. Unfall)
Abbruch der Reha

Tab. 2: Einschluss-, Ausschluss- und Abbruchkriterien

2.3 Der Balance-X-Sensor Pro (BXS)

2.3.1 Was ist der BXS?

Der Balance-X-Sensor wurde 2007 von Prof. Dr. Peter Schneider von der Universität Würzburg entwickelt. Er dient der Ermittlung der neuromuskulären und körperlichen Leistungsfähigkeit eines Probanden. So lassen sich u. a. Gleichgewichtstests durchführen und Aussagen bezüglich des Osteoporose- und Sturzrisikos sowie der Leistungsfähigkeit der Muskulatur machen. Des Weiteren dient er der Effektivitätskontrolle von physiotherapeutischen Anwendungen und Muskeltrainingsprogrammen und deren Optimierung (Soehle Professional GmbH Co.KG o. J.).

2.3.2 Aufbau und Funktionsweise des BXS

Das Gerät besteht aus einer Plattform, auf deren Oberfläche einwirkende Kräfte registriert werden (siehe Abb. 4). Diese Plattform ruht auf drei, eine dreiecksförmige Ebene bildende Sensoren, welche die Muskelkraft bei Bewegungen gegen die Schwerkraft (dynamische Tests) sowie die muskulären Kräfte zur Aufrechterhaltung des Schwerpunktes (statische Tests) messen. Die Sensitivität dieser Sensoren beträgt ± 1 N und die maximale Belastbarkeit pro Sensorzelle 2000 N (Balance-X-Sensor Pro Bedienungsanleitung). Die wirkenden Kräfte erzeugen quasi-periodische Wellen, welche als Serien pro Zeit mit einer

Frequenz von 160 Hz aufgezeichnet werden. Die Daten analysiert ein Computerprogramm auf dem angeschlossenen Rechner im Muskelfrequenzspektrum. Leistung und Kräfteverhältnis werden in der Kraft-Zeit-Reihe und die Kraftvektorfläche und Spurlänge werden unter dem Stichwort „Balance“ ebenfalls mittels dieses Programms ausgewertet (siehe Abb. 5).



Abb. 4: Der Balance-X-Sensor Pro

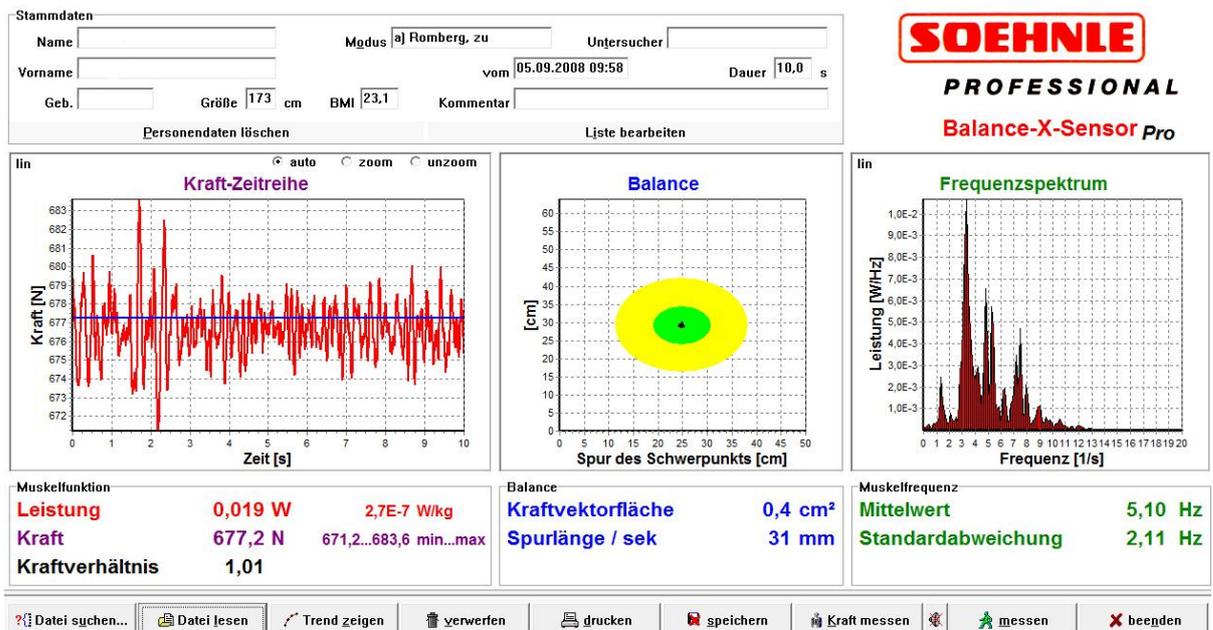


Abb. 5: Screenshot der Auswertungsdatei des Balance-X-Sensor Pro

2.3.3 Messbare Parameter mittels des BXS

Ermittelbare Parameter:

- Muskelleistungsfrequenz [Hz]
- Kraftvektorfläche [cm²]
- Spurlänge [mm/s]
- Stehleistung [Watt]
- Bewegungsleistung [Watt]
- Maximalkraft [N]
- Kräfteverhältnis bezogen auf das Körpergewicht.

Muskelleistungsfrequenz, Kraftvektorfläche und Stehleistung beziehen sich auf statische Tests. Bei statischen Tests wirken muskuläre Kräfte zur Aufrechterhaltung des Schwerpunktes auf den BXS. Diese werden registriert und daraus der Massenschwerpunkt und die Lage der Kräfteschwerpunkte errechnet.

Die Muskelleistungsfrequenz spiegelt die Schnelligkeit wider, mit der die posturale Muskulatur reagiert, um den Masseschwerpunkt stabil zu halten. Sie gibt Auskunft über den Trainingszustand des Probanden. Eine hohe Frequenz zeigt einen guten Trainingszustand und damit ein gutes neuromuskuläres Zusammenspiel an.

Mittels der *Kraftvektorfläche* lassen sich Erkenntnisse bezüglich der Balancefähigkeit des Probanden, d.h. der Balancefläche des Körperschwerpunktes gewinnen. Ergänzt wird dieser Parameter durch die *Spurlänge* [mm/s], welche die Auslenkung des Schwerpunktes ausgehend vom Ausgangspunkt misst.

In beiden Parametern spiegelt sich die Stand- und Gangsicherheit wider. Einige Beispiele zur Auswertung dieser beiden Parameter finden sich in Tabelle 3.

Spurlänge	Kraftvektorfläche	Ereignis
klein	klein	Proband steht stabil, schwankt nur minimal um Schwerpunkt
groß	klein	Proband schwankt stark um seinen Schwerpunkt herum
klein	groß	Proband hat ein bis zwei starke Auslenkungen seines Schwerpunktes, steht dann aber stabil
groß	groß	Proband schwankt kontinuierlich stark, kann Gleichgewicht nicht finden

Tab. 3: Auswertungsbeispiele

Die *Stehleistung* gibt Auskunft über die Kraft pro Zeit, welche zur Aufrechterhaltung des ruhigen Standes aufgewendet wird. Diese wird durch das Zusammenwirken von Nervenleitung, Gleichgewichtsorgan und Muskelfunktionszustand bedingt. Je kleiner die Leistung, desto effektiver ist das Zusammenwirken.

Die dynamischen Tests werden durch die Bewegungsleistung, die Maximalkraft und das Kräfteverhältnis bezogen auf das Körpergewicht charakterisiert. Bei der Durchführung dieser Tests werden Bewegungen gegen die Schwerkraft ausgeführt. Die dabei erbrachte Muskelleistung wird durch die *Bewegungsleistung* (Kraft/Zeit) abgebildet. Mittels des BXS werden sowohl *Maximal-, Minimal- und durchschnittlich gemessene Kraft* als auch das *Kräfteverhältnis bezogen auf das Körpergewicht* ($\text{Kraft}_{\text{max}}/\text{Körpergewicht}$) dargestellt (Soehnle Professional GmbH Co.KG o. J.). Auch bei den dynamischen Tests spielt der Trainingszustand der Muskulatur eine Rolle und wird durch die Muskelleistungsfrequenz repräsentiert.

Für die Auswertung der statischen Tests wurden die Parameter 'Stehleistung', 'Spurlänge' und 'Muskelleistungsfrequenz' herangezogen. Da weder die *Maximalkraft* noch das *Kräfteverhältnis bezogen auf das Körpergewicht* einen Mehrwert bei der Erreichung des Ziels der Studie bringen, wurden für die dynamischen Tests ausschließlich die *Bewegungsleistung* und die Muskelleistungsfrequenz ausgewertet.

2.4 Die Entwicklung der Testbatterie für den BXS

2.4.1 Allgemeines

Die Ursachen chronischer Rückenschmerzen sind vielfältig. So zeigen sich z.B. Zusammenhänge mit mangelndem Training bzw. mangelnder Nutzung v. a. der autochthonen Rückenmuskulatur oder Verspannungen aufgrund einseitiger Bewegungsmuster. Zur Behandlung dieser Ursachen werden in der Rehaklinik Am Kurpark schwerpunktmäßig muskelentspannende sowie muskeltrainierende Therapien eingesetzt. Um deren Erfolge zu überprüfen, gibt es eine Reihe bereits validierter Assessmentmethoden, wie z.B. der Rückentest (RT) und der Funktionsfragebogen Hannover-Rücken (FFbH-R).

Das Ziel dieser Studie ist die Entwicklung einer Testbatterie für den BXS für Patienten mit chronischen Rückenschmerzen, deren Integration in den Rehabilitationsalltag sowie der Vergleich mit einigen bereits validierten Assessmentmethoden. Hierzu war es erforderlich Tests zu erarbeiten, welche es gestatten, möglichst gezielte Aussagen über den Zustand der Rückenmuskulatur der Patienten machen zu können.

Mittels des BXS werden Parameter zum Trainingszustand der Muskulatur wie Stand- und Gangsicherheit, Gleichgewicht, Leistung und Kraft untersucht. Zur Entwicklung geeigneter Tests für diese Parameter wurden Studien zur Prävention von Stürzen und Frakturen (Runge 2002, 2006a + b; Runge, Felsenberg 2006) und zu physiotherapeutischen Übungen

(Gillmann 1981; Camrath 1983) herangezogen. Hierbei wurde besonderes Augenmerk auf Übungen gelegt, welche die Rückenstabilität fördern und dies auch auf dem BXS abbilden können. Die entsprechend ausgewählten Tests lieferten eine vorläufige Testbatterie, welche nach Erprobung in der Praxis (siehe Kapitel 3.4.2) noch modifiziert wurde.

2.4.2 Die vorläufigen Tests

Ursprünglich bestand die vorläufige Testbatterie aus 10 Tests:

- | | |
|--|---------------|
| 1. Seitneigen | (10 s) |
| 2. Aufstehen aus dem Kniestand | (10x in 20 s) |
| 3. Standwaage | (10 s) |
| 4. Sprungwechsel | (1x in 10 s) |
| 5. Aufstehen vom Stuhl mit beiden Beinen | (5x in 10 s) |
| 6. Romberg-Stand | (10 s) |
| 7. Einbein-Stand rechts/links | (10 s) |
| 8. Kniebeuge | (10 s) |
| 9. Aufstehen vom Stuhl mit einem Beinen (Einbeinig) rechts/links | (20x in 40 s) |
| 10. Einspringen rechts/links | (5 s). |

Diese Tests wurden an einem Probandenkollektiv aus 10 Gesunden und 10 Rückenschmerz-Patienten auf ihre Tauglichkeit und Durchführbarkeit geprüft. Hierbei wurde ein besonderes Augenmerk auf die Ergebnisunterschiede zwischen beiden Gruppen gelegt, um festzustellen, ob ein Test eine gewisse Sensibilität besitzt. Bei der Prüfung ergaben sich folgende Ergebnisse:

Das seitliche Abknicken des Oberkörpers (*Seitneige*) dient der Mobilisation der Wirbelsäule (Gillmann 1981). Um den Oberkörper zur Seite zu neigen, benötigt man eine gut gedehnte und starke laterale Rumpfmuskulatur. Die abknickende Körperseite sollte eine gut ausgebildete Muskulatur haben, um durch Anspannen der Muskulatur den Oberkörper noch weiter in Richtung Boden zu ziehen. Die gegenüberliegende Körperseite sollte gut gedehnt sein, um das seitliche Abknicken der Gegenseite zu ermöglichen. Es wurde erwartet, dass sich die vermehrte Kraft, welche auf der abknickenden Seite auf den Sensor wirkt, in der Kraft-Zeitreihe wiederfinden wird. Aufgrund dieses Ergebnisses sollte eine Aussage über den Zustand der seitlichen Bauch- und der Rückenmuskulatur sowie der Mobilisation der Wirbelsäule getroffen werden. Dies ließ sich mittels der Tests an den 20 Probanden nicht belegen.

Da der Rücken beim *Aufrichten aus dem Kniestand* gerade gehalten werden soll (Camrath 1983), benötigt man bei dieser Bewegung sowohl eine gut ausgebildete Rückenmuskulatur

als auch ein stabiles Kniegelenk. Bei ungenügender Rückenspannung und/oder Kniestabilität wurde erwartet, dass diese Übung nicht ohne Wackeln, d.h. Verlagerung des Schwerpunktes aus dem vorgesehenen Rahmen, durchgeführt werden kann. In der Kraftvektorfläche und der Spurlänge wurden daher höhere Werte erwartet als bei gut trainierten Menschen. Da die Messfläche des BXS zu klein war, um die Ausgangsstellung für diesen Test einzunehmen, wurde dieser Test aus der Studie ausgeschlossen.

Die *Standwaage* dient sowohl der Mobilisation der Hüften als auch der Wirbelsäule (Gillmann 1981). Um diese Übung richtig auszuführen, benötigt man eine gute Rücken-, Bein- und Armspannung, eine gute Kniestabilität und ein gut ausgebildetes Gleichgewicht. Dies sollte sich in der Kraftvektorfläche, der Spurlänge und der Muskelfrequenz darstellen. Die Tests ergaben, dass viele Probanden Schwierigkeiten hatten, die Ausgangsstellung (*Standwaage*) einzunehmen. Zusätzlich kam es, abhängig von der Statur des Probanden, zu Platzmangel auf dem Sensor und es bestand eine gewisse Sturzgefahr vor allem bei älteren Menschen. Da man ähnliche Parameter sowohl mit dem *Einbein-Stand* als auch mit dem *Einspringen* erfassen kann, wurde dieser Test aus dem Katalog entfernt.

Beim *Sprungwechsel*, d.h. Wechsel von einem Bein auf das andere, sollte das Gleichgewicht, die Muskelfrequenz und die Dauer bis zum Wiedererlangen des Gleichgewichtes nach dem Sprung erfasst werden. Da sich beim Start schon ein Bein des Probanden auf der BXS-Plattform befand, erlaubte dieser Test keine Aussage bezüglich der oben genannten Parameter die jeweilige Seite betreffend. Es konnte keine Trennung der Messergebnisse der beiden Beine durchgeführt werden. Aus diesem Grund wurde dieser Test durch das *Einspringen* rechts/links ersetzt.

Das *Aufstehen von einem Stuhl mit beiden Beinen* als auch mit einem Bein findet bereits im „Osteoporose-Sport“ und in der Diagnostik zur Prävention von Stürzen und Frakturen Anwendung (Runge 2002, 2006a + b; Runge und Felsenberg 2006). Runge benennt in seiner Arbeit „Diagnostik des Sturzrisikos bei älter werdenden Menschen“ unter anderem eine verringerte Muskelleistung vor allem der unteren Extremität als Hauptgrund für Stürze. Die Muskelleistung der unteren Extremität kann mittels Aufsteh-Test, auch Chair-Rising-Test genannt, untersucht werden. Die Muskulatur der unteren Extremität wirkt stabilisierend auf das menschliche Knie, woraus sich schließen lässt, dass der Aufsteh-Test eine Aussage über die Stabilität des Knies erlaubt. Allerdings ließ sich mittels dieses Tests wiederum keine genaue Aussage über die Funktion der Rückenmuskulatur machen, was dazu führte, dass dieser Test durch den *Aufstehen-vom-Stuhl-mit-einem-Bein*-Test ersetzt wurde.

Die übrigen fünf Tests der vorläufigen Testbatterie finden sich in der endgültigen Testbatterie wieder und werden im Folgenden erläutert.

2.4.3 Die endgültigen Tests

Beim *Romberg*-Stand steht der Proband mit leicht gebeugten Knien, geradem Rücken, parallel stehenden etwa schulterbreit geöffneten Füßen, locker an der Seite hängenden Armen und geschlossenen Augen 10 Sekunden auf dem BXS. Durch das Schließen der Augen fällt die visuelle Kontrolle weg, wodurch es schwieriger wird, die Balance zu halten. Der BXS zeichnet die vollbrachte Leistung, die Kraftvektorfläche, die Spurlänge und die Muskelleistungsfrequenz auf. Er erlaubt somit Rückschlüsse auf die Arbeit, die der Proband leisten muss, um im Gleichgewicht zu bleiben, auf die Balance und den Trainingszustand der zum Aufrechterhalten dieser Stellung nötigen Muskulatur (siehe Kapitel 3.3.3).

Der *Einbein-Stand* wird beidseitig durchgeführt. Er erfordert ein hohes Maß an Gleichgewicht, Rückenspannung und Kniestabilität. Der Proband steht mit geöffneten Augen und geradem Rücken auf einem Bein, wobei das Knie leicht gebeugt ist und das andere Bein mit etwa 90° angewinkelt auf Gürtelhöhe angehoben wird. Das angehobene Bein darf nicht hinter das Standbein gehakt werden, da es sonst zu einer Unterstützung der Stabilität kommt. Der Probanden sollte sich einen weiter entfernten Fixpunkt suchen können, die Arme locker an den Seiten hängend. Diese Stellung soll der Proband 10 Sekunden lang halten. Mittels BXS können die gleichen Daten erhoben werden wie beim *Romberg*-Stand.

Bei der richtigen Ausführung der *Kniebeuge* ist es wichtig, dass der Rücken gerade und die Fersen am Boden bleiben. Der Proband soll in 10 Sekunden so viele Kniebeugen wie möglich machen. Dieser Test erlaubt Rückschlüsse auf die Beweglichkeit und die Dynamik sowie auf die Kraft. Mittels der Parameter 'Leistung' und 'Kraft' können Aussagen über die vollbrachte Arbeit und die aufgewendete Kraft des Patienten gemacht werden.

Das *Aufstehen vom Stuhl mit einem Bein (Einbeinig rechts/links)* ist ein Kraft-Ausdauer-Test. Hierbei soll der Proband in maximal 40 Sekunden 20-mal mit einem Bein von einem Stuhl aufstehen und sich kontrolliert wieder setzen. Das nicht belastete Bein wird nach vorne gehalten und darf den Boden nicht berühren. Um den Test durchzuführen, wird ein leichter Hocker (Gewicht: 2 kg; Sitzhöhe: 49 cm) auf die Messfläche des BXS gestellt, auf den sich der Proband setzt. Das Gewicht des Hockers führt bei der Auswertung zu keinem signifikanten Unterschied der Ergebnisse. Beim Aufstehen ist es wichtig, das Standbein einmal zur Streckung zu bringen, den Rücken gerade zu halten und sich nicht mit den Armen abzustützen (siehe Abbildungen 6 a-e). Erreicht der Proband die 20 Wiederholungen vor

Ablauf der 40 Sekunden, wird der Test beendet. Dadurch wird die Zeit gestoppt und Fehler in der Auswertung der Leistung vermieden, denn Leistung ist definiert als Kraft/Zeit . Auch dieser Test wird für beide Seiten durchgeführt. Beim einbeinigen Aufstehen muss das gesamte Körpergewicht mit einem Bein gehoben und kontrolliert wieder gesenkt werden. Dies erfordert ein hohes konditionelles Maß im jeweiligen Bein sowie Knie- und Rückenstabilität und bei 20 Wiederholungen ein Mindestmaß an Kondition. Die Werte Leistung, Kraft, Zeit und Anzahl der Wiederholungen geben darüber Auskunft.



Abb. 6 a-e: Ein Proband bei der Ausführung des Tests: Einbeinig rechts/links

Zur Durchführung des Testes *Einspringen rechts/links* ist eine gute Koordination zwischen Untersucher und Proband erforderlich. Der Proband steht vor dem BXS. Auf das Kommando 1 springt der Proband auf den Sensor, während der Untersucher gleichzeitig den Start-Button anklickt. Diese Gleichzeitigkeit ist sehr wichtig, da das Gerät keine Messung durchführen kann, wenn es kein Gewicht auf dem Sensor registriert. Der Proband landet mit nur einem Bein auf der Plattform (Stand wie beim *Einbein-Stand rechts/links*, s.o.) und soll in maximal 5 Sekunden sein Gleichgewicht finden. Ist in der Kraft-Zeit-Reihe für 2 Sekunden kein Anzeichen eines Wackelns erkennbar, wird der Test beendet (s. *Einbeinig rechts/links*). Mit diesem Versuch sollen die Zeit bis zum Wiedererlangen des Gleichgewichtes, die Balancefähigkeit und die aufgewandte Kraft zum Erreichen dieser Ziele ermittelt werden.

2.5 Die erwarteten BXS-Ergebnisse

Die Testreihe des BXS gliederte sich in statische und dynamische Tests (vgl. Kapitel 2.3.4). Zu den statischen Tests gehörten der *Romberg-Stand* und der *Einbein-Stand rechts/links*. Hierbei lag der Schwerpunkt darauf, sein Gleichgewicht unter minimalem Arbeitsaufwand der Muskulatur zu halten. Dazu wird ein gutes Zusammenspiel der verschiedenen Muskelgruppen benötigt. Aus diesem Grund wurde bei den Tests erwartet, dass Leistung und Spurlänge aufgrund eines besseren Trainingszustandes der Muskulatur am Ende der

Reha gesunken sind und sich dies auch in einer Erhöhung der Muskelleistungsfrequenz widerspiegelt.

Die dynamischen Tests wurden durch die *Kniebeuge* und das *Aufstehen von einem Stuhl mit einem Bein (Einbeinig rechts/links)* sowie das *Einspringen rechts/links* vertreten. Da bei der Durchführung dieser Tests eine starke Auslenkung des Schwerpunktes zu erwarten war, wurde die Spurlänge bei der Auswertung dieser Tests nicht ausgewertet. Der Test *Einspringen rechts/links* bildet hier eine Ausnahme. Da hier u.a. festgestellt werden sollte, wie lange der Patient braucht, um einen ruhigen Stand wieder zu erlangen, wurde hier auch der Parameter 'Spurlänge' zur Auswertung herangezogen. Wie auch bei den statischen Tests wurde erwartet, dass die Muskulatur am Ende der Reha einen besseren Trainingszustand zeigen würde. Dies sollte sich in der erhöhten Muskelleistungsfrequenz zeigen. Durch diese Verbesserung sollte der Patient in der Lage sein, die geforderten Aufgaben besser und schneller auszuführen und somit eine höhere Leistung erzielen zu können.

Der Test *Einspringen rechts/links* nimmt eine Zwischenstellung zwischen den statischen und den dynamischen Tests ein. Hier sollte der Patient nach einer Auslenkung des Schwerpunktes (das Springen) möglichst schnell und unter geringem Arbeitsaufwand der Muskulatur wieder das Gleichgewicht finden und halten können. Durch eine bessere Koordination der Muskelgruppen sollte dies am Ende der Reha mit weniger Leistung verbunden sein als am Anfang der Reha.

Tabelle 4 zeigt eine Übersicht über die erwarteten Veränderungen der BXS-Parameter.

	Romberg	Einbein- Stand re/li	Kniebeuge	Einbeinig re/li	Einspringen re/li
Leistung	↓	↓	↑	↑	↓
Spurlänge	↓	↓	-	-	↓
Muskelleistungsfrequenz	↑	↑	↑	↑	↑

Tab. 4: Erwartete BXS-Veränderungen (↑ gestiegen, ↓ gesunken, - nicht ausgewertet)

2.6 Der BXS-Untersuchungsablauf

Die BXS-Tests wurden jeweils einmal zu Beginn der Rehabilitation und einmal kurz vor der Beendigung der Rehabilitation durchgeführt.

Vor Beginn der Untersuchung wurde der Proband über die Funktion des BXS informiert und gebeten die Schuhe auszuziehen. Nach Kalibrierung des BXS wurde der Proband angewiesen sich mit den Zehenspitzen schulterbreit an die weiße Linie zwischen den beiden rutschfesten PVC-Belägen auf die BXS-Plattform zu stellen (siehe Abb. 4) und für einige Sekunden ganz still zu stehen. Während dieser Zeit ermittelte das Gerät einmalig das Gewicht des Probanden. Anschließend erklärte der Versuchsleiter den folgenden Test. Die Versuchsreihe bestand aus den fünf in Kapitel 3.4.3 beschriebenen Tests, welche jeweils einmal durchgeführt wurden. Vor jedem Test hatten die Probanden die Möglichkeit die jeweiligen testspezifischen Übungen ohne Datenaufzeichnung auszuprobieren. Die Reihenfolge der Tests war für jeden Probanden identisch.

2.7 Der Rückentest

2.7.1 Allgemeine Informationen

Der Rückentest basiert auf der von Denner beschriebenen Methode der biomechanischen Funktionsanalyse (Denner 1998). Hierbei wird mittels FPZ/Schnell-Messsystem die Wirbelsäulenmobilität und die isometrische Maximalkraft (isoMK) der Rumpfmuskulatur jeweils in der Frontal-, Sagittal- und der Transversalebene gemessen. Dies erfolgt an vier verschiedenen Geräten, welche die Möglichkeit bieten, individuelle Ausrichtungen der Sitzposition, Drehachsen und der Fixierungen vorzunehmen. Diese Fixierungen sind nötig, um andere Muskelgruppen und Simultanbewegungen angrenzender Gelenke auszuschließen und hierdurch speziell Aussagen über die Rumpfmuskulatur treffen zu können. Sämtliche Einstellungen wurden für jeden Patienten notiert und beim Re-Test in identischer Weise vorgenommen. Um Messungenauigkeiten zu vermeiden, wurden Test und Re-Test von ein und demselben Untersucher und zu annähernd gleichen Tageszeiten durchgeführt. Durch die Fixierung auf denselben Zeitpunkt, sollte die von Denner beschriebene (Denner 1998) tageszeitabhängige Abweichung der Testergebnisse von bis zu 15% vermieden werden. Eine ebenfalls in der Rehaklinik Am Kurpark dazu durchgeführte Untersuchung konnte zeigen, dass sich bereits nach drei- bis vierwöchigem Rehabilitationsaufenthalt Verbesserungen im Bereich der Mobilität und der Maximalkraft der Rückenmuskulatur mittels des Rückentests nachweisen lassen (Reuss-Borst et al. 2008).

2.7.2 Die Mobilitätsmessung

Bei der Mobilitätsmessung wird ausgehend von einer normierten Ausgangsposition die maximale Bewegungsamplitude der Wirbelsäule erfasst. Gemessen wird in der Reihenfolge

Flexion/Extension, Lateralflexion rechts/links und Rotation rechts/links in der Einheit Grad. Mittels eines Computerprogramms werden die gemessenen Ist-Werte mit FPZ-Referenzwerten verglichen und dann in Prozent des Soll-Wertes angegeben.

2.7.3 Die Messung der isometrischen Maximalkraft (isoMK)

Auch die Messung der isoMK erfolgt aus einer normierten Ausgangsposition. Nacheinander werden Extension, Flexion, Lateralflexion rechts/links und Rotation rechts/links getestet und als Drehmoment in [Nm] bestimmt. In fünf Sekunden soll der Proband seine Maximalkraft entwickeln und diese mindestens für eine Sekunde halten. In der Analyse der aufgezeichneten Daten, werden die Ausgangswerte als Prozent des Soll-Wertes und die Änderung von t_1 zu t_2 in Prozent der absolut gemessenen Ausgangswerte angegeben.

Für die vorliegende Studie wurden neben den Mobilitätsparameter für Flexion/Extension und Lateralflexion rechts/links, die isoMK-Parameter 'Extension', 'Flexion' sowie das 'Verhältnis von Bauch- zu Rückenmuskulatur' ('BM/RM') zur Auswertung herangezogen. Es wurde vermutet, dass sich die Einflüsse dieser Parameter am ehesten im BXS widerspiegeln könnten. Besonderes Interesse galt dabei dem BM/RM. Dieser erlaubt Aussagen über das Kräfteverhältnis zwischen Bauch- und Rückenmuskulatur, welches entscheidend zur Stabilität des Rumpfes beiträgt. Bei einem unausgeglichene Verhältnis dieser beiden Muskelgruppen leidet demnach die Stabilität des Rumpfes, was wiederum zu Fehlbelastungen und somit zu Rückenschmerzen führen kann.

Da vermutet wird, dass auch die BXS-Parameter 'Leistung' und 'Spurlänge' u.a. von der Rumpfstabilität abhängig sind, wird im Folgenden ein Zusammenhang zwischen diesen Parametern und dem BM/RM überprüft (s. Kap. 3.3.3).

2.8 Der Funktionsfragebogen Hannover Rücken (FFbH-R)

Der FFbH-R wurde 1989 von der Arbeitsgruppe um Raspe entwickelt. Er dient der Erfassung der subjektiven Funktionskapazität bei Patienten mit Rückenbeschwerden. Berücksichtigt wird nur die Situation in den vergangenen 7 Tagen (Kohlmann, Raspe 1996). In 12 Fragen, wie z.B. nach dem Herunterholen eines Buches von einem Schrank, beurteilen die Patienten selbst ihre Leistungsfähigkeit bei Alltagstätigkeiten. Die Bewertung erfolgt mittels der Zahlenwerte 0 bis 2, wobei der Antwort „Ja“ zwei Punkte, der Antwort „Ja, aber mit Mühe“ ein Punkt und der Antwort „Nein, oder nur mit fremder Hilfe“ null Punkte zugeordnet werden. Aus dem Gesamtpunktwert lässt sich mit folgender Formel die Funktionskapazität berechnen:

$$FK (\%) = \frac{\text{Erreichte Punktzahl}}{2 \times \text{Anzahl der gültigen Antworten}} \times 100$$

Formel 1: Funktionskapazität

Die Einschränkung im Alltag ergibt sich aus folgenden Werten:

FK < 70 %	starke Einschränkung im Alltag
70 % ≤ FK ≤ 79 %	mäßige Einschränkung im Alltag
FK > 79 %	keine Einschränkung im Alltag.

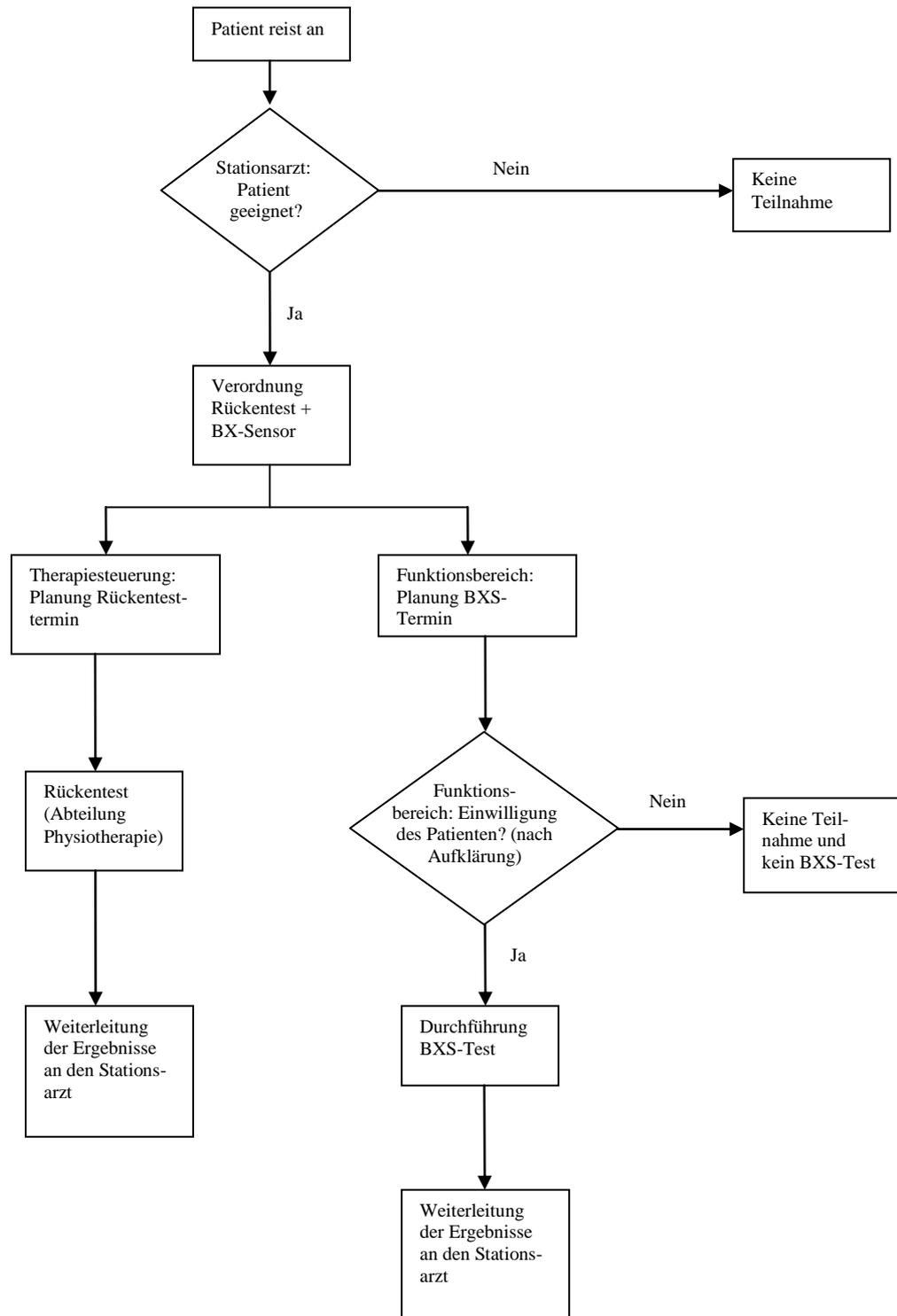
2.9 Integration des Studienablaufes in den Alltag der Rehabilitationsklinik

Die notwendigen drei Testmethoden bei der Durchführung dieser Studie waren der BXS, der RT und der FFbH-R. Da jeder der teilnehmenden Patienten an allen drei Tests zu Beginn und am Ende der Reha teilnehmen sollte, war es nötig die beteiligten Abteilungen der Rehabilitationsklinik zu koordinieren. Hierzu gehören Ärzte, Stationssschwestern, Schwestern in den Funktionsbereichen, Physiotherapeuten und die Therapiesteuerung, welche die Wochenpläne für die Patienten erstellt. Zunächst wurden alle Beteiligten bei der täglichen Mittagsbesprechung über die geplante Durchführung der Studie aufgeklärt und gemeinsam ein Plan erarbeitet, welcher mit möglichst geringem Aufwand die Integration aller nötigen Bestandteile beinhalten sollte. Bei dessen Durchführung traten verschiedene Probleme, wie z.B. ein zu hoher Arbeitsaufwand für die Stationsärzte und Schwestern und die Unzuverlässigkeit der Patienten bei der Rückgabe der Fragebögen, auf. Daher wurde der Ablauf mehrmals modifiziert, bis sich schließlich ein optimales Konzept herauskristallisierte. Letztendlich waren drei „Abteilungen“ der Rehaklinik am Ablauf beteiligt: der Stationsarzt, der Funktionsbereich (Diagnostik) und die Therapiesteuerung. Dem Stationsarzt oblag die Entscheidung, ob der Patient für die Studie tauglich war oder nicht. War der Patient geeignet, kam es zur Anordnung des BXS-Tests sowie des RT. Im Funktionsbereich wurde der Patient über die Studie aufgeklärt, seine Einwilligung dazu eingeholt und anschließend der FFbH-R ausgefüllt und der BXS-Test durchgeführt. Die Therapiesteuerung war für die Koordination der Termine verantwortlich. Eine Übersicht über den endgültigen Ablaufplan findet sich in Abbildung 7.

Für eine bestmögliche Vergleichbarkeit der Testmethoden untereinander war es nötig, die Tests zu möglichst gleichen Tageszeiten und im gleichen Abstand durchzuführen. Da der FFbH-R jeweils kurz vor dem BXS ausgegeben und direkt vor Ort ausgefüllt wurde, war dies

hier gegeben. Eine Herausforderung stellte die Koordination von BXS und RT dar. Hierfür war die Therapiesteuerung verantwortlich.

Die RT wurden von max. drei verschiedenen Physiotherapeuten oder der Doktorandin durchgeführt. Für die Durchführung der BXS-Tests waren entweder die Doktorandin oder die Schwester des Funktionsbereiches verantwortlich. Um einen vergleichbaren Untersuchungsablauf zu gewährleisten, wurden drei Schwestern des Funktionsbereiches in der korrekten Durchführung der BXS-Tests geschult sowie ein genauer Testablaufplan erstellt und beim BXS hinterlegt (siehe Anhang). Zur Schulung gehörten die korrekte Testabfolge, Testerklärung und der Testablauf sowie die Handhabung des BXS-Computerprogramms.

**Abb. 7: Ablaufplan**

2.10 Statistische Auswertung

Aufgrund der fehlenden Referenzwerte für den Balance-X-Sensor sowie der unterschiedlichen Skalen der zu vergleichenden Assessmentinstrumente musste eine Ebene gefunden werden, auf der eine Gegenüberstellung der Ergebnisse möglich ist. Die Ergebnisse des RT (Ist-Werte) werden in Prozent des Soll-Wertes angegeben (vgl. Kapitel 3.6.2 und 3.6.3) und die Resultate der Funktionskapazität werden ebenfalls in Prozent (vgl. Kapitel 3.7) ausgewiesen. Beim BXS zeigen sich bei den drei verschiedenen Parametern jeweils unterschiedliche Einheiten. Die Leistung wird in [Watt], die Spurlänge in [mm/s] und die Muskelleistungsfrequenz in [Hertz] angegeben.

Der Vergleich der drei Assessmentinstrumente erfolgte auf der Ebene der prozentualen Veränderung über den Zeitraum von t_1 zu t_2 . Zur Betrachtung der Unterschiede der einzelnen Testergebnisse zu t_1 und t_2 wurden die Mittelwerte berechnet und verglichen. Dies erfolgte unter Zuhilfenahme des Programms Excel 2003.

Die Prüfung der Wechselbeziehungen zwischen den Balance-X-Sensor-Parametern 'Leistung' und 'Spurlänge' und dem Rückentest erfolgte mittels des Pearsons'schen Korrelationskoeffizienten r . Statistische Signifikanz wurde ab $p < 0,05$ angenommen. Die Auswertung dieser Daten wurde mittels des Programms Statistica (Version 8 der Firma StatSoft) durchgeführt.

Zur spezifischen Betrachtung der vollständigen Datensätze wurden gesondert Korrelationsanalysen, Subgruppenunterteilungen (u. a. Altersklassen, Geschlechtsunterschiede), Mittelwertanalysen mit Standardabweichungen sowie Varianzanalysen durchgeführt.

3 Auswertung

Die Auswertung der Daten wurde unter verschiedenen Gesichtspunkten durchgeführt. Zunächst wurden allgemeine Informationen zur Demographie der Studienteilnehmer analysiert. Die Betrachtung der BXS-Ergebnisse erfolgte getrennt in statische und dynamische Tests. Zur Klärung der Frage, ob der BXS als Assessmentinstrument einer Rehabilitationsklinik dienen kann, wurde analysiert, ob sich eine Veränderung sowohl im RT und im FFbH-R als auch mittels des BXS abbilden lässt. Ein nachweisbarer Zusammenhang wurde zwischen dem Rückentest-Parameter 'BM/RM' und der 'Leistung' sowie der 'Spurlänge' (SPL) der BXS-Tests erwartet (vgl. Kap. 2.7.3) und anhand einer Korrelationsanalyse überprüft.

3.1 Demographie der Studienteilnehmer

Unter den Probanden befanden sich 30 Frauen (25,2%) und 89 Männer (74,8%) im Alter von 19 bis 65 Jahren. Das durchschnittliche Alter betrug 48 Jahre (m: 49 +/- 10 Jahre; w: 46 +/- 14 Jahre).

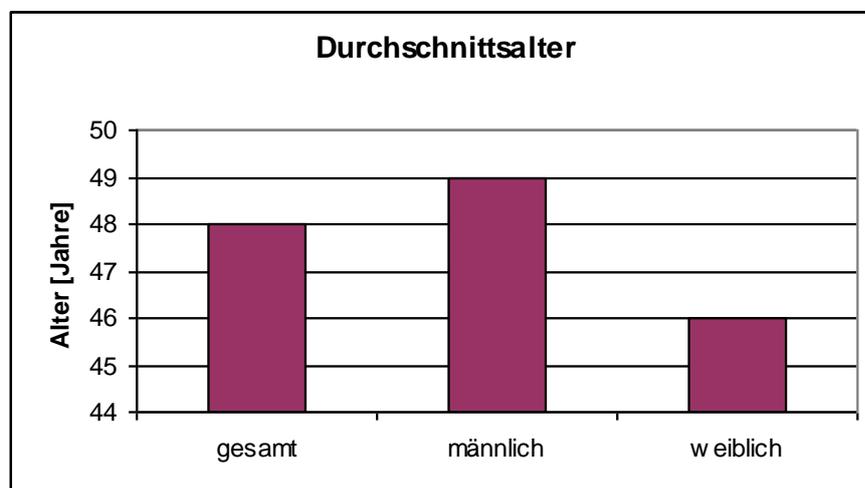


Abb. 8: Durchschnittsalter der Probanden

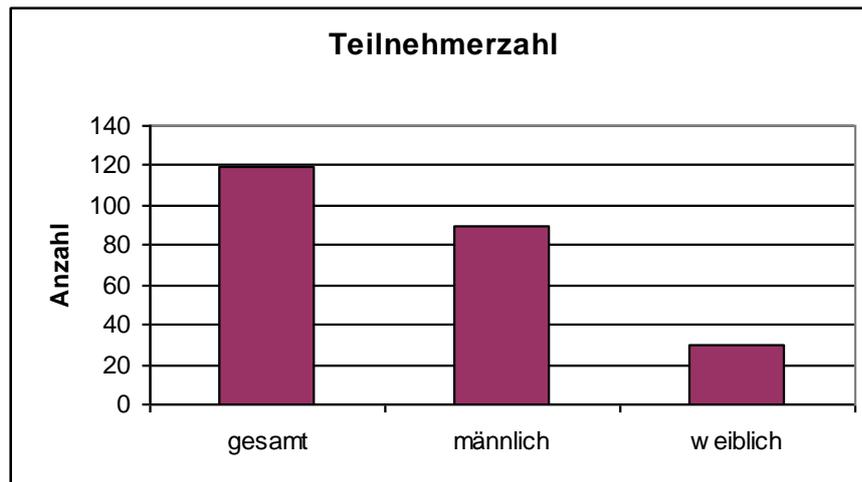


Abb. 9: Teilnehmerzahl

Im Mittel waren die Probanden 174 cm groß (m: 177 cm +/- 20,2 cm; w: 166 cm +/- 7,1 cm) und hatten zu Beginn der Rehabilitation einen Body-Maß-Index von 28,15 kg/m² (m: 28,6 kg/m² +/- 4,8; w: 27 kg/m² +/- 3,8). Die fünf häufigsten Nebendiagnosen waren Adipositas und sonstige Überernährung (E65 – E68), Stoffwechselstörungen (E70 – E90), Psychische und Verhaltensstörungen durch psychotrope Substanzen (F10 – F19), sonstige Krankheiten des Ohres (H90 – H95) und Arthropathien (M00 – M25). In Tabelle 5 ist eine Übersicht zur Häufigkeit der einzelnen Nebendiagnosen zusammengestellt.

		Gesamt	männlich	weiblich
Adipositas und sonstige Überernährung	E65-E68*	48	40	8
Stoffwechselstörungen	E70-E90*	52	44	8
Psychische und Verhaltensstörungen durch psychotrope Substanzen	F10-F19*	27	23	4
Sonstige Krankheiten des Ohres	H90-H95*	11	10	1
Arthropathien	M00-M25*	34	20	14
Krankheiten der Wirbelsäule und des Rückens	M40-M54*	113	86	27
Sonstige	*	323	271	48

* Mehrfachnennungen möglich

Tab. 5: Häufigkeiten der Nebendiagnosen [Anzahl]

Bei einer durchschnittlichen Rehabilitationsdauer von 24 Tagen (+/- 5) nahmen die Probanden im Mittel an 92 (+/- 36) Therapien teil. Zu den am häufigsten frequentierten Maßnahmen gehörten medizinische Trainingstherapie (21 +/- 12), Kardiotraining (14 +/- 10),

Thermotherapie (13 +/- 11), Gruppengymnastik (9 +/- 6), standardisierte Rückenschule (7 +/- 2) und koordinatives Training (6 +/- 3). Eine Übersicht zu allen im Rahmen des multimodalen Behandlungskonzeptes angebotenen Therapiemaßnahmen findet sich im Anhang.

36 der 119 Probanden (m: 23; w: 13, ges.: 30,3%) nahmen am Ende des Rehabilitationsaufenthaltes weniger Schmerzmedikamente ein als zu Beginn. Bei 6 (m: 1; w: 5; ges.: 5%) mussten die Schmerzmedikamente gesteigert werden und 10 (m: 3; w: 3; ges.: 8,4%) blieben bei ihrer Ausgangsdosierung. Die übrigen nahmen weder vor noch nach der Rehabilitation Schmerzmedikamente ein. Der durchschnittliche Zeitraum zwischen den BXS-Tests lag bei 14 Tagen (+/- 4) mit einer Spanne von 6 bis 32 Tagen.

3.2 Die Testbatterie

Die Testbatterie besteht aus fünf Tests. Wie bereits in Kapitel 2.4.3 beschrieben hatte jeder Test seine eigenen Schwerpunkte, welche die jeweilige Testdurchführung unterschiedlich schwierig gestalteten. Besonders viele Fehlerquellen zeigten sich beim *Einspringen rechts/links*. Diese waren zum einen durch die Mischung aus statischen und dynamischen Elementen und zum anderen durch die komplexen Anforderungen zur korrekten Durchführung bedingt (vgl. Kap. 2.4.3). Aufgrund dieser Beobachtungen kommen Zweifel an der Eignung dieses Tests in einer solchen Testbatterie auf (s. Kap. 4.2, 4.3). Aus diesem Grund soll er bei der weiteren Auswertung nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Die anfänglichen Probleme mit der korrekten Durchführung der BXS-Tests konnten durch nochmalige Schulung des Pflegepersonals weitestgehend ausgeschaltet werden. Weitere Schwierigkeiten traten im Zusammenhang mit der Auswertungssoftware auf. Auf die weiteren Einzelheiten wird in der Diskussion (Kap. 4) eingegangen.

3.3 BXS-Ergebnisse

Die Tests (BXS, RT, FFbH-R) wurden jeweils zu Beginn der Reha (t_1) und am Ende der Reha (t_2) durchgeführt. Bei der Auswertung der BXS-Ergebnisse fiel auf, dass bei einigen Patientendaten Fehler bei der Testdurchführung oder im Auswertungsprogramm (wie z.B. unerklärliche Messfehler bei der Spurlänge oder das selbständige Zurücksetzen der eingestellten Zeit beim *Einspringen rechts/links*) auftraten. Um die Gesamtheit der Ergebnisse nicht zu verfälschen, wurden diese Datensätze aus der Auswertung ausgeschlossen, wodurch bei den einzelnen Tests verschiedene Patientenzahlen entstanden. Unvollständige

Datensätze (fehlendes t_1 oder t_2) wurden ebenfalls ausgeschlossen. Zur Auswertung wurden die durchschnittlichen Absolutwerte und die prozentuale Verbesserung herangezogen.

3.3.1 Statische Tests

Im Zusammenhang mit den statischen Tests *Romberg* und *Einbein-Stand rechts/links*, wurden die Parameter 'Leistung', 'Spurlänge' und 'Muskelleistungsfrequenz' ausgewertet. Von einer Verbesserung wurde hier bei einer Abnahme der Leistung sowie der Spurlänge und einer Zunahme der Muskelleistungsfrequenz ausgegangen.

Beim *Romberg*-Test zeigten sich Verbesserungen sowohl der Leistung, als auch der Muskelleistungsfrequenz. Die Leistung sank durchschnittlich um 0,02 Watt, was einer Verbesserung um 30,44% entspricht. Die Muskelleistungsfrequenz steigerte sich geringfügig um 0,02 Hz (0,39%). Bei der Auswertung des Parameters 'Spurlänge', ergab sich allerdings eine Verlängerung um 0,72 mm. Dies entspricht einer Verschlechterung um 2,16%.

Die Analyse des Tests *Einbein-Stand rechts* zeigte Verbesserungen aller drei Parameter. Die Leistung sank um 0,16 Watt (17,37%), die Spurlänge verkürzte sich um 6,37 mm (7,1%) und die Muskelleistungsfrequenz steigerte sich um 0,06 Hz, was einer Verbesserung von 1,6% entspricht. Die gleichen Tendenzen fanden sich auch beim *Einbein-Stand links* wieder. Hier kam es zu einer Verbesserung der Leistung um 0,61 Watt (57,51%) und der Spurlänge um 9,94 mm (11,07%), sowie zu einer Erhöhung der Muskelleistungsfrequenz um 0,05 Hz (1,26%).

Zur Verdeutlichung der Entwicklung der Parameter vom Beginn bis zum Ende der Reha, sind in den Abbildungen 10 bis 12 jeweils die Absolutwerte der einzelnen Parameter der statischen Tests zum Zeitpunkt t_1 und t_2 dargestellt. In Abb. 7 fällt ein deutlicher Unterschied zwischen der Leistung beim *Einbein-Stand rechts* und *links* auf. Mit dem linken Bein musste bei t_1 mehr Leistung aufgewendet werden, um das Gleichgewicht zu halten. In t_2 zeigt auch ein deutlicherer Rückgang der Leistung am Ende der Reha als beim rechten Bein. Wie in Abb. 11 und 12 zu sehen, zeigten sich bei den Parametern 'Spurlänge' und 'Muskelleistungsfrequenz' keine derartig starken Abweichungen zwischen rechts und links.

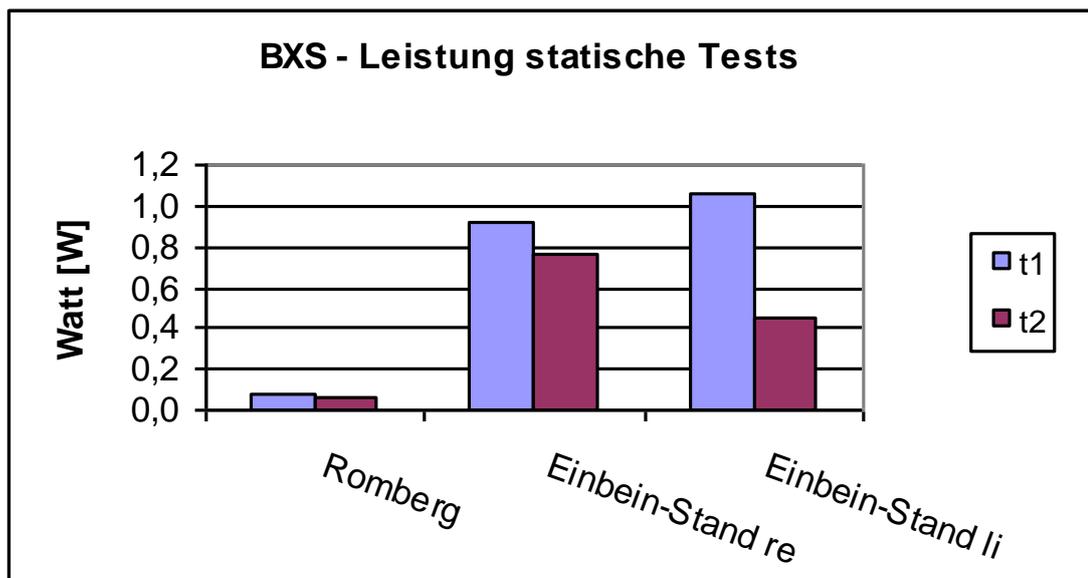


Abb. 10: BXS - Leistung statische Tests

Abb. 8 bestätigt die oben genannten Zahlen der einzelnen Tests. Es ist zu erkennen, dass es sowohl beim *Einbein-Stand rechts* als auch *links* zu einer deutlichen Verkürzung der Spurlänge kam. Bei näherer Betrachtung der Einzelwerte fällt auf, dass die Spurlänge des linken Beines deutlicher abgenommen hat als die des rechten (re: 7,1%, li: 11,07%). Beim *Romberg*-Test zeigte sich hingegen eine geringfügige Verschlechterung des Parameters.

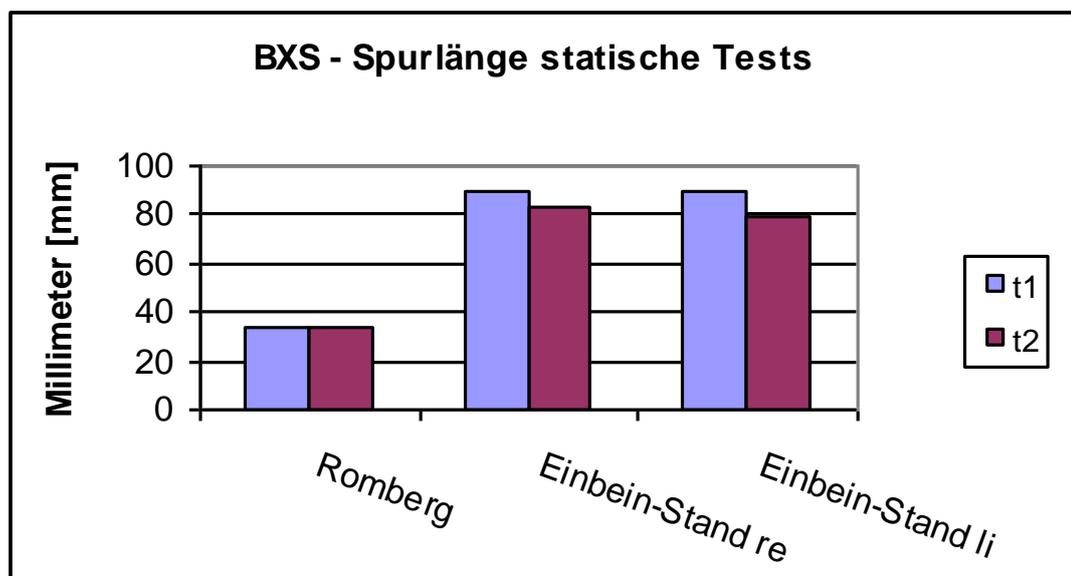


Abb. 11: BXS - Spurlänge statische Tests

Die Muskelleistungsfrequenz zeigte bei allen statischen Tests zwar eine Zunahme, allerdings war diese eher von geringem Ausmaß (s. Abb. 12).

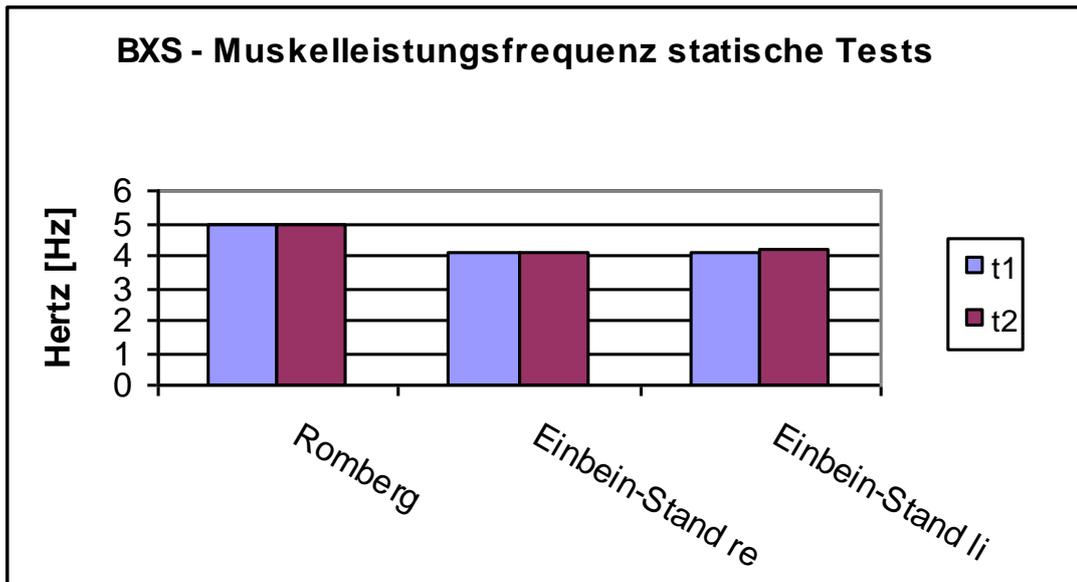


Abb. 12: BXS - Muskelleistungsfrequenz statische Tests

Da es sich bei den Tests *Einspringen rechts/links* um eine Mischung aus statischen und dynamischen Tests handelt, hierbei aber ebenfalls die Parameter 'Leistung', 'Spurlänge' und 'Muskelleistungsfrequenz' ausgewertet wurden, soll deren Auswertung auch an dieser Stelle besprochen werden. Auch bei diesen Tests konnte eine Verbesserung aller drei Parameter nachgewiesen werden. Die Leistung verminderte sich rechts um 46,86 Watt (62,16%) und links um 4,41 Watt (17,65%). Eine Verbesserung konnte ebenfalls sowohl bei der Spurlänge (rechts: 4362,86 mm; 42,77%, links: 3470,59 mm; 51,27%) als auch bei der Muskelleistungsfrequenz (rechts: 0,37 HZ; 14,57%, links: 0,08 HZ; 2,86%) gezeigt werden.

3.3.2 Dynamische Tests

Bei den dynamischen Tests *Kniebeuge* und *Einbeinig rechts/links* wurden ausschließlich die Parameter 'Leistung' und 'Muskelleistungsfrequenz' in die Auswertung einbezogen. Im Gegensatz zu den statischen wurde bei den dynamischen Tests erwartet, dass es zu einer Zunahme der Leistung kommt (vgl. Kap. 2.5). Die Muskelleistungsfrequenz sollte auch bei den dynamischen Tests ansteigen. Die Erwartungen wurden bei allen drei Tests erfüllt.

Bei den *Kniebeugen* kam es bei einer Zunahme der Leistung um 159,99 Watt zu einer Verbesserung um 61,8%. Die Muskelleistungsfrequenz stieg um 0,04 Hz (4,41%).

Die Auswertung der Ergebnisse des Tests *Einbeinig rechts* zeigte eine Zunahme der Leistung um 41,05 Watt (34,19%) und eine Abnahme der Muskelleistungsfrequenz um 0,03 Hz, was einer Verschlechterung um 1,28% entspricht. Bei der Ausführung dieses Tests mit dem linken Bein zeigte sich eine Verbesserung der Leistung um 47,62% (55,6 Watt) und der Muskelleistungsfrequenz um 2,2% (0,04 Hz).

Die Abbildungen 13 und 14 zeigen die Entwicklung der Parameter 'Leistung' und 'Muskelleistungsfrequenz' der dynamischen Tests von t_1 zu t_2 . In Abb. 10 ist im Gegensatz zu dem Graphen der statischen Tests (vgl. Abb. 7) kein Unterschied zwischen der Leistung des rechten und linken Beins beim Test *Einbeinig rechts/links* zu erkennen. Bei genauerer Analyse zeigt sich jedoch auch hier ein kleiner Seitenunterschied der Ergebnisse. Wichen die Werte für Leistung und Muskelleistungsfrequenz zu Beginn der Rehabilitation (t_1) im Seitenvergleich nur geringfügig voneinander ab (Leistung re: 120,08 W, li: 116,73 W; MLF re: 2 Hz, li: 1,99 Hz), so stellten sich zum Zeitpunkt t_2 die Seitenunterschiede allerdings etwas größer und zugunsten der linken Seite dar (Leistung re: 161,13 W, li: 172,32 W; MLF re: 1,98 Hz, li: 2,04 Hz).

Wie ebenfalls anhand der Zahlen zu sehen, bestätigt auch der Graph die erwartete Zunahme der Leistung bei allen dynamischen Tests zum Zeitpunkt t_2 .

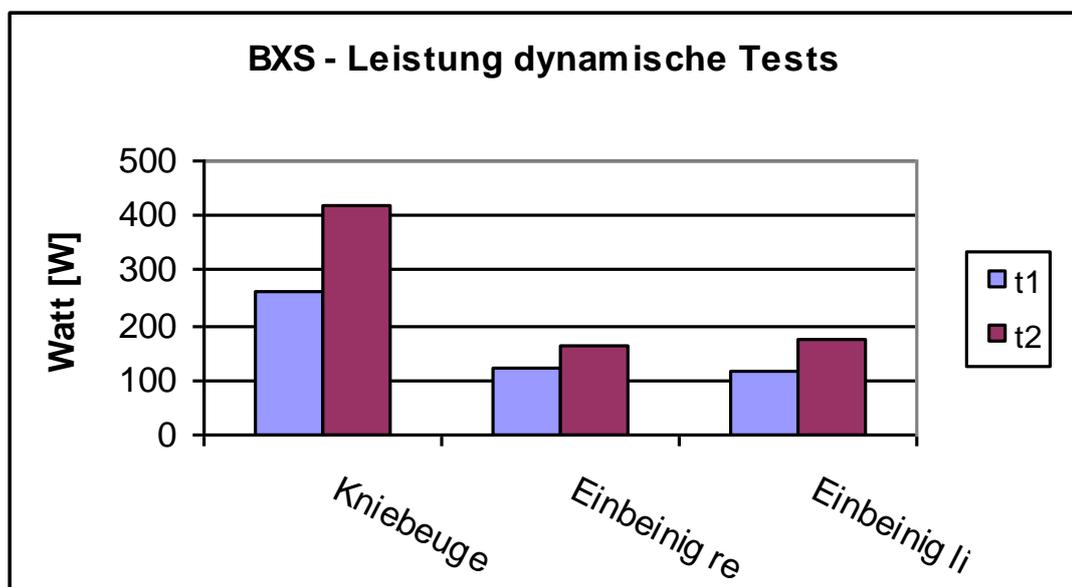


Abb. 13: BXS - Leistung dynamische Tests

Wie bei den statischen Tests, kam es auch bei den dynamischen Tests nur zu einer geringen Zunahme der Muskelleistungsfrequenzen (vgl. Abb. 11 und 13). Der größte Zuwachs war mit 4,41% bei den *Kniebeugen* zu verzeichnen.

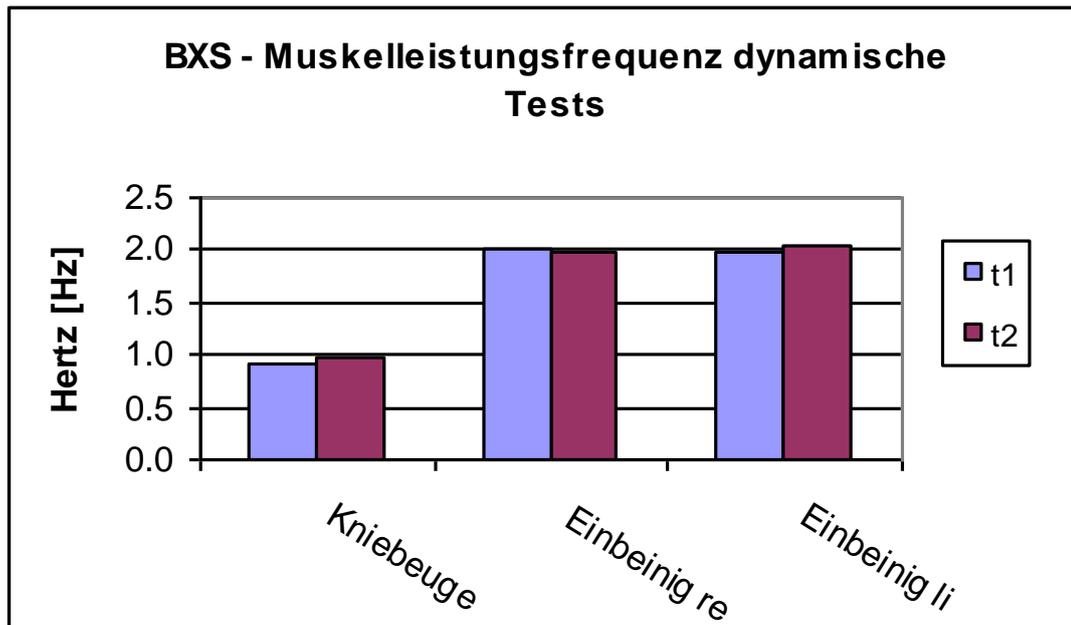


Abb. 14: BXS - Muskelleistungsfrequenz dynamische Tests

3.4 RT- und FFbH-R-Ergebnisse

Für den späteren Vergleich zwischen den Ergebnissen des RT und des BXS wurden die RT-Parameter 'Mobilität' und 'Kraft' berücksichtigt. Ausgewertete Parameter waren die 'Mobilität der BWS/LWS', 'Seitwärtsneigung', 'Drehung', 'Kraft der Rückenmuskulatur' und 'Kraft der vorderen Bauchmuskulatur', sowie das 'Kräfteverhältnis zwischen Bauchmuskulatur und Rückenmuskulatur' ('BM/RM'). Diese Parameter wurden ausgewählt, da vermutet wurde, dass sie den größten Einfluss auf die BXS-Tests haben und sich eine Verbesserung bei diesen auch auf dem BXS niederschlagen würde. Des Weiteren wurde die subjektiv vom Patienten empfundene Verbesserung des Wohlbefindens mittels des Funktionsfragebogens Hannover-Rücken (FFbH-R) bestimmt.

Aus den Ergebnissen des RT ist ersichtlich, dass es bei allen ausgewerteten Parametern zu einer Verbesserung gekommen ist. Die Mobilität der BWS/LWS zeigte eine Zunahme um 13,03%. Bei der Seitwärtsneigung kam es zu einer Steigerung der Beweglichkeit um 6,58%. Die Auswertung der Kraft zeigte eine Zunahme der Kraft der Rückenmuskulatur um 18,91% und der vorderen Bauchmuskulatur um 4,96%. Damit kam es auch zu einer Verbesserung des Kräfteverhältnisses BM/RM um 10,66%.

Abbildung 12 stellt die Parameterentwicklung des Rückentests von t_1 zu t_2 dar. Wie auch die Zahlen zeigen, konnte bei allen ausgewerteten Tests sowohl bei der Mobilität als auch bei der Kraft am Ende der Reha eine Steigerung gezeigt werden.

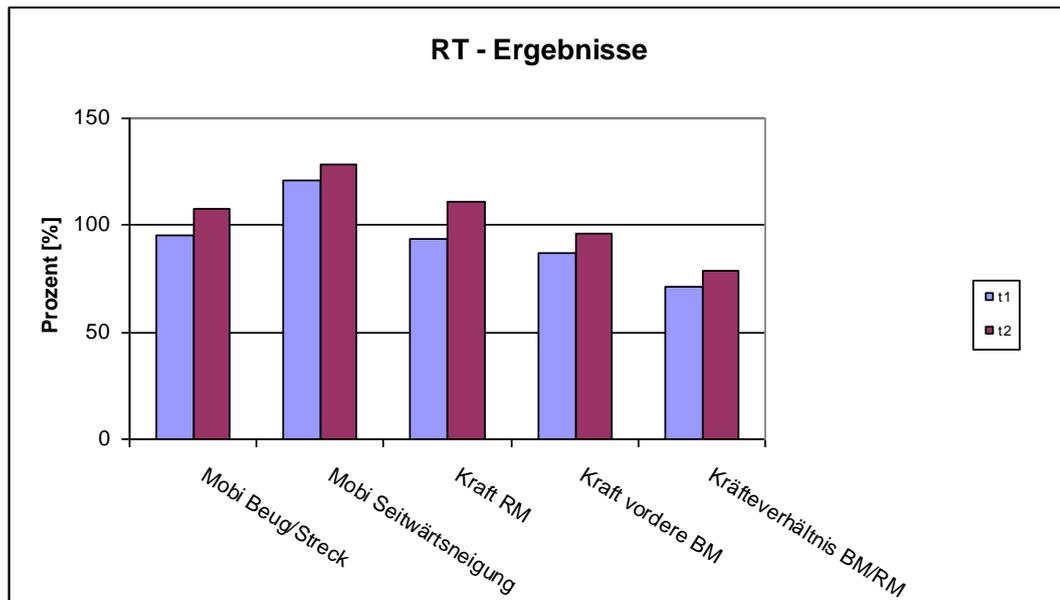


Abb. 15: RT-Ergebnisse

Im FFbH-R ergab sich eine Verbesserung der Funktionskapazität um 4,16%. Im Durchschnitt betrug die Funktionskapazität der Patienten zum Beginn der Reha 73,64%, was einer mäßigen Beeinträchtigung entspricht. Zum Ende der Reha lag sie bei 77,85%. Dies entspricht zwar ebenfalls noch einer mäßigen Beeinträchtigung, zeigt allerdings auch eine geringfügige Verbesserung der subjektiv empfundenen Funktionskapazität der Patienten.

3.5 Zusammenhang zwischen BM/RM und Leistung sowie Spurlänge

Aufgrund des vermuteten Zusammenhanges zwischen BM/RM und Spurlänge sowie Leistung (vgl. Kap. 2.7.3), wurde eine Korrelationsanalyse dieser Parameter durchgeführt. Signifikanz wurde bei $p < 0,05$ angenommen. Wie in Tab. 6 zu sehen ist, zeigte sich bei der Leistung des Tests *Einbeinig rechts* ein schwacher ($r=0,35$), aber dennoch signifikanter Zusammenhang ($p=0,003$) zum BM/RM. Eine hohe Korrelation zeigte sich ebenfalls bei der Leistung des Tests *Einbeinig links* ($r=0,86$), allerdings konnte bei einem p-Wert von 0,479 keine Signifikanz nachgewiesen werden. Die Korrelationsanalyse der restlichen Tests ergab keine weiteren Zusammenhänge mit dem BM/RM.

BXS-Tests	Korrelationskoeffizient [r]	p-Wert [p]
Romberg Leistung	-0,02	0,858
Romberg SPL	-0,14	0,217
Einbein-Stand re Leistung	0,17	0,146
Einbein-Stand re SPL	0,05	0,682
Einbein-Stand li Leistung	0,19	0,101
Einbein-Stand li SPL	-0,01	0,981
Kniebeuge Leistung	-0,07	0,539
Einbeinig re Leistung	0,35	0,003
Einbeinig li Leistung	0,86	0,479

Tab. 6: Korrelationsanalyse von BM/RM, Leistung, und Spurlänge

3.6 Komprimierte Datensätze

3.6.1 Auswertung Patientendaten, Rehabilitationsdauer und Behandlungsmethoden der komprimierten Datensätze

Um eine intensivere Untersuchung der Ergebnisse durchzuführen, wurden die Daten auf die komplett vollständigen Datensätze komprimiert. Hierzu zählen diejenigen, welche jeweils sowohl den Eingangs- als auch den End-Test aller drei Assessmentmethoden (FFbH-R, BXS und RT) beinhalten. Nachdem 17 Frauen (56,7%) und 46 Männer (55,4%) von der Auswertung ausgeschlossen wurden, verblieben 56 Datensätze. Letztendlich wurde eine Stichprobe von 43 Männern (76,8%) und 13 Frauen (23,2%) ausgewertet.

Das Alter lag durchschnittlich bei 47,9 Jahren (Spannweite 21 - 65 Jahre), wobei die Männer durchschnittlich 48,5 Jahre (SD 7,9) und die Frauen durchschnittlich 46,1 Jahre (SD 11,0) alt waren. Statistisch wurde dieser Unterschied nicht signifikant (T-Wert = 0,86, n.s.). Bei der Unterteilung in Altersklassen zeigten sich Unterschiede zwischen den Geschlechtern im Bereich von 41 – 50 Jahren und bei 51 – 60 Jahren. Während der Altersschwerpunkt der Männer in der Klasse von 51 – 60 Jahren lag (35,7%), lag er bei den Frauen bei 51 – 60 Jahren (10,7%). Dazu waren in der Altersklasse >61 Jahre nur Männer vertreten (vgl. Tab. 7).

Alter							
		insges.		m		w	
		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Durchschnitt	47,9 Jahre	56	100	43	48,5	13	46,15
21 - 30 Jahre		1	1,8	0	0,0	1	7,7
31 - 40 Jahre		8	14,3	6	13,9	2	15,4
41 - 50 Jahre		24	42,8	20	46,5	4	30,8
51 - 60 Jahre		20	35,7	14	32,6	6	46,2
61 - 65 Jahre		3	5,4	3	7,0	0	0

Tab. 7: Altersverteilung nach Geschlecht und Einteilung in Altersklassen

Die längste Reha-Dauer lag bei 35 Tagen (Modalwert). Die durchschnittliche Rehabilitationsdauer umfasste 24 Tage (m: 24 Tage \pm 4,7; w: 24 Tage \pm 3,7; kein statistisch signifikanter Unterschied). Wenn man die Rehadauer in 3 Klassen einteilt, wird deutlich, dass die Mehrzahl der Patienten zwischen 20 und 25 Tage in der Klinik verbrachten; jedoch kam es bei 37,5% der Patienten zu längeren Verweildauern bis maximal 35 Tage. Hiervon waren 28,6% männlichen Geschlechts (vgl. Tab. 8).

Rehadauer [Tage]	Häufigkeit		m		w	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
20 - 25	35	62,5	27	62,7	7	53,8
26-30	17	30,4	12	27,9	6	46,2
31-35	4	7,1	4	9,3	0	0,0

Tab. 8: Rehadauer nach Klasseneinteilung und Geschlechtsunterschied

Während der Behandlungszeit wurden pro Patient durchschnittlich 99 Einzel-Behandlungen (unterschiedlicher Gruppierung) in Anspruch genommen (m: 103 +/- 36,2; w: 93 +/- 38,9), wovon durchschnittlich 46 einem aktiven Training (Medizinische Trainingstherapie, Gruppengymnastik, Wassergymnastik, Kardiotraining) zugeordnet werden können. Wir prüften, ob sich bezüglich der oben beschriebenen Variablen ein geschlechtsspezifischer Unterschied darstellen lässt. Wie der T-Test für unabhängige Stichproben zeigt, besteht bezüglich des Alters, der Rehabilitations-Dauer sowie der Anzahl aktivierender Behandlungsmaßnahmen kein geschlechtsspezifischer Unterschied (s. Tab. 9).

Variable	MW u. SD Frauen	MW u. SD Männer	T-Wert	Signifikanz (2-Seitig)
Alter	46,2 +/- 11	48,5 +/- 8	0,862	0,393
Reha-Dauer	23,7 +/- 3,7	24,4 +/- 4,7	0,457	0,649
Akt. Training	43,2 +/- 18,5	48,1 +/- 21,2	0,723	0,473
Behandlungen insges.	93 +/- 38,9	102,7 +/- 36,2	0,810	0,422

Tab. 9: T-Test-Ergebnisse für unabhängige Stichproben (Alter, Reha-Dauer, aktives Training, Behandlungsanzahl)

3.6.2 Auswertung des FFbH-R in den komprimierten Datensätzen

Bei der Analyse der Fragebogenergebnisse zur erlebten Funktionskapazität (FFbH-R) wurden Unterschiede zwischen den Geschlechtern sowie Prä- und Post-Unterschiede geprüft. Es ergaben sich folgende Ergebnisse:

Der Mittelwert der erlebten Funktionskapazität (FFbH-R-Wert) lag bei der ausgewählten Stichprobe zu Beginn der Rehabilitation bei 72,6% \pm 19 (m: 74,3% +/- 19,3; w: 67,0% \pm 17,1). Dieser Unterschied war statistisch nicht signifikant (T-Wert = 1,23, n.s.). Hierbei hatten 35,7% der Patienten eine Funktionskapazität unter 70, 10,7% lagen unter 50 und 5,6% der Patienten sogar unter 30.

Am Ende der Behandlung zeigte sich für die gesamte Stichprobe im Mittel eine Verbesserung der FFbH-R-Werte von 72,6 auf 78,1 Punkte.

In der Varianzanalyse für Messwiederholung konnte beim Test der Innersubjekteffekte (Zeitfaktor) ein signifikanter Unterschied der Ergebnisse vor und nach der Rehabilitation festgestellt werden (F-Wert = 12,99; $p < 0,001$). Bei der Überprüfung eines möglichen Unterschiedes zwischen Männern und Frauen bestand jedoch keine Signifikanz (F-Wert= 1,06, $p = 0,306$), d.h., dass Frauen und Männer in gleicher Weise einen Anstieg ihrer subjektiv erlebten Funktionskapazität erreichten.

Im Mittel wurde im FFbH-R damit eine Verbesserung um 5,5 Punktwerte erreicht, wobei Männer einen mittleren Anstieg um 4,5 Punkte erzielten und bei den Frauen eine mittlere Steigerung von 8,6 Punkten zu beobachten war. Trotz dieses größeren Zuwachses der Funktionskapazität bei den Frauen wurde dieser Unterschied statistisch nicht signifikant.

Anhand der Klasseneinteilung der FFbH-R-Differenzen ist ersichtlich, dass es bei 26,8% der Patienten im Verlauf der Rehabilitation zu keiner Änderung der subjektiv erlebten Funktionskapazität kam; bei insgesamt 17,9% verschlechterte sich diese sogar. Bei 30

Patienten (55,5%) kam es zu einer Steigerung, wobei bei 7 der 56 Patienten (12,5%) eine Verbesserung der Funktionskapazität von mehr als 16 bis sogar 50 Punktwerten festgestellt werden konnte (s. Tab. 10).

FFbH-R-Differenz in Punktwerten	Häufigkeit	%
-20 - (-11)	2	3,6
-10 - (-1)	8	14,3
0	15	26,8
1 - 5	11	19,7
6-10	5	8,9
11 - 15	3	5,4
16 - 20	5	8,9
21-25	5	8,9
26 - 30	1	1,8
bis 50	1	1,8

Tab. 10: FFbH-R-Differenzen, in Klassen unterteilt

3.6.3 Auswertung der Ergebnisse des Rückentests

Die Auswertung der Rückentestergebnisse beinhaltet bei den komprimierten Datensätzen die Daten zur Mobilität beim Beugen und Strecken sowie der Seitwärtsneigung und die Kraft der Rücken- und der Bauchmuskulatur. Zudem wurde ebenfalls das Kräfteverhältnis zwischen Bauch- und Rückenmuskulatur ausgewertet.

Hierbei zeigt sich für die Gesamtgruppe ein hoch signifikanter Unterschied im Vorher-Nachher-Vergleich bei der Mobilität beim Beugen und Strecken (F-Wert=23,93; $p < 0,001$). Auch bei der seitlichen Mobilität sowie der Kraft von Rücken- und Bauchmuskulatur können signifikante Verbesserungen dargestellt werden. Das Kräfteverhältnis von Bauch- zu Rückenmuskulatur weist zwar ebenfalls eine leichte Verbesserung auf, jedoch besteht hier bei einem F-Wert von 0,026 und einem $p=0,874$ kein signifikanter Unterschied (s. Tab. 11).

		Mittelwert	SD	F-Wert	Signif.
Mobilität Beugung/Streckung	t1	94,71	20,06	23,934	<0,001
	t2	108,31	15,94		
Mobilität Seitwärtsneigung	t1	122,48	16,42	9,081	0,004
	t2	128,61	15,22		
Kraft Rückenmuskulatur	t1	94,72	33,35	6,988	0,011
	t1	109,93	33,79		
Kraft Bauchmuskulatur	t1	88,52	24,90	8,899	0,004
	t2	99,08	23,52		
Kraftverhältnis Bauch- und Rückenmuskulatur	t1	92,30	124,54	0,026	0,874
	t1	96,25	123,61		

Tab. 11: Varianzanalyse, Mittelwerte, Standardabweichungen und Signifikanz der RT-Ergebnisse

Zudem erfolgte bezüglich der Verbesserungen eine Unterteilung in Untergruppen anhand des Geschlechterunterschiedes. Diesbezüglich konnte bei den Rückentestparametern „Mobilität beim Beugen und Strecken“ sowie bei der „seitlichen Mobilität“ ein signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen festgestellt werden (s. Tab. 12). Dabei kam es bei den Frauen zu einer größeren Zunahme der Mobilität in beiden Bereichen. Die Parameter der Kraftentwicklung zeigten jedoch keine Unterschiede zwischen beiden Geschlechtern.

	F-Wert	Signif.
Mobilität Beugung/Streckung	6,916	0,01
Mobilität Seitbeugung	5,467	0,023
Kraft Rücken- Muskulatur	0,974	0,328
Kraft Bauch- Muskulatur	0,307	0,582
Kraft-Verhältnis Bauch-/Rücken	0,559	0,458

Tab. 12: Varianzanalyse der RT-Ergebnisse in Abhängigkeit vom Geschlecht

3.6.4 Auswertung der BXS-Werte

Tab. 13 gibt eine Übersicht aller BXS-Parameter mit Darstellung von Mittelwert, Standardabweichung (SD) und Spannweite der Werte.

Bei der näheren Betrachtung der BXS-Messwerte (insbesondere für Leistung und Spurlänge,

s. Tab. 13) fallen z.T. sehr hohe bis extreme Spannweiten auf. Die Werte rangieren bei der Leistung der dynamischen Tests z.B. zwischen 0,21 und 2540 Watt; die Spurlänge schwankt zwischen 17 und 267 mm. Allenfalls die Muskelleistungsfrequenz liegt in einem vertretbaren Schwankungsbereich bei den statischen Tests zwischen 1,93 und 6,54 Hz und bei den dynamischen Tests zwischen 0,49 und 4,81 Hz.

Diese sehr hohe Spannweite der Daten ist auf Eigenheiten der ausgeführten Tests und deren Durchführung zurückzuführen (s. Diskussion). Aufgrund der sehr starken Variabilität der Ergebnisse der Parameter Leistung und Spurlänge ist eine statistische Beurteilung im Rahmen parametrischer Verfahren nicht sinnvoll, weshalb sich bei der intensivierten Auswertung der BXS-Ergebnisse auf die Muskelleistungsfrequenz beschränkt wurde.

		Leistung [Watt]			Spurlänge [mm]			MLF [Hz]		
		Mittelwert	SD	Spannweite	Mittelwert	SD	Spannweite	Mittelwert	SD	Spannweite
Romberg	t1	0,06	0,1	0,48	31,82	10,6	63	4,78	0,9	3,65
	t2	0,05	0,1	0,38	33,41	10	45	4,87	0,9	3,85
	Diff.	-0,01	0,1	0,52	1,59	8,6	45	0,09	0,8	3,69
Einbeinstand re	t1	0,84	1,7	8,2	85,04	47,6	240	4,12	0,8	3,79
	t2	0,57	2	15,09	75,59	38,9	190	4,22	0,7	3,55
	Diff.	-0,27	2,3	19,84	-9,45	36,1	218	0,11	0,9	3,89
Einbeinstand li	t1	0,70	2	14,68	83,79	41,5	195	4,08	0,7	3,18
	t2	0,41	0,7	4,17	73,68	36,7	237	4,21	0,7	3,23
	Diff.	-0,20	1,5	12,77	-10,11	41,6	278	0,13	0,8	4
Kniebeuge	t1	317,76	382,36	1984				0,91	0,2	0,65
	t2	490,19	508,2	2530				0,94	0,2	0,69
	Diff.	172,44	280,7	1675				0,03	0,2	0,84
Einbeinig re	t1	127,92	109	491,7				1,94	0,6	2,8
	t2	170,04	139,5	538,79				1,98	0,6	3,67
	Diff.	42,12	78,8	368,3				0,04	0,5	2,83
Einbeinig li	t1	129,33	110	516,63				1,93	0,6	3,45
	t2	188,95	167,8	703,73				2,01	0,7	3,74
	Diff.	59,62	129,3	787				0,07	0,4	2,42

Tab. 13: Übersicht aller BXS-Parameter mit Mittelwert, SD und Spannweite

Zur Auswertung der Veränderungen der Muskelleistungsfrequenz im Vergleich der Messzeitpunkte vor und nach Behandlung wurden T-Tests (für abhängige Stichproben) durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 14 zusammengestellt und sie zeigen, dass sich zwischen beiden Messzeitpunkten keine statistisch signifikanten Veränderungen in den Werten der Muskelleistungsfrequenz bei verschiedenen Körperpositionen/Übungen ergeben.

		Mittelwert	SD	T-Wert	Signif.
Romberg	t1	4,78	0,9		
	t2	4,87	0,9		
		0,09	0,8	-0,86	0,393
Einbeinstand re	t1	4,12	0,8		
	t2	4,22	0,7		
		0,11	0,9	-0,91	0,365
Einbeinstand li	t1	4,08	0,7		
	t1	4,21	0,7		
		0,13	0,8	-1,29	0,203
Kniebeuge	t1	0,91	0,2		
	t2	0,94	0,2		
		0,03	0,2	-1,71	0,093
Einbeinig re	t1	1,94	0,6		
	t1	1,98	0,6		
		0,04	0,5	-0,69	0,492
Einbeinig li	t1	1,93	0,6		
	t2	2,01	0,7		
		0,07	0,4	-1,30	0,199

Tab. 14: Mittelwerte, Standardabweichungen und Ergebnisse T-Test der MLF im Vergleich vor und nach Therapie (n=56)

3.6.5 Korrelationsanalyse

Um zu prüfen, ob die Veränderungen in den berücksichtigten Parametern Zusammenhänge untereinander aufweisen, wurden die erreichten Differenzwerte (Testergebnis nach Therapie minus Testergebnis vor Therapie) sowohl miteinander, wie auch in Bezug auf das Alter, das Geschlecht, die Rehabilitationsdauer, die Anzahl der Therapien insgesamt und die Anzahl der aktiven Therapien sowie die Veränderung in der subjektiven Funktionskapazität miteinander korreliert (Pearsson Produkt-Moment-Korrelation).

Die Ergebnisse der körperlichen Veränderungswerte zu Alter, Reha-Dauer, Anzahl aktiver Therapien zeigen bei einem Korrelationskoeffizienten von $r=-0,348$ ($p=0,009$) einen schwachen, jedoch signifikanten negativen Zusammenhang zwischen dem Alter und der Muskelleistungsfrequenz beim BXS-Test *Romberg*. Des Weiteren findet sich ebenfalls eine schwache Beziehung zwischen der Rehabilitationsdauer und der Anzahl der aktiven Trainingstherapien ($r=0,297$, $p=0,028$).

In Bezug auf die Veränderung in der erlebten Funktionskapazität (FFbH-R) zeigen sich keine signifikanten Zusammenhänge.

Beim Vergleich der körperlichen Veränderungswerte untereinander finden sich bei den RT-Parametern signifikante Zusammenhänge zwischen der Kraft der Rückenmuskulatur und der Kraft der Bauchmuskulatur ($r=0,36$, $p=0,006$) und zwischen der Kraft der Bauchmuskulatur und dem BM/RM ($r=0,464$, $p < 0,001$).

Zur Auswertung des BXS wurde aus oben genannten Gründen nur der Parameter 'Muskelleistungsfrequenz' herangezogen. Dieser wurde bei allen 6 Tests bestimmt.

Bei der Korrelationsanalyse der BXS-Tests untereinander zeigen sich zwar schwache, jedoch signifikante Zusammenhänge der MLF-Entwicklung zwischen den Tests *Kniebeuge* und *Einbeinig rechts* ($r=-0,264$, $p=0,049$), *Einbein-Stand rechts* und *links* ($r=0,393$, $p=0,003$) und bei den Tests *Einbeinig rechts* und *links* ($r=0,428$, $p=0,001$).

4 Diskussion

4.1 Allgemeines

Das Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob sich der Balance-X-Sensor (BXS) als Assessmentinstrument zum Nachweis eines Therapieerfolges bei Patienten mit chronischen Rückenschmerzen im Alltag einer Rehabilitationsklinik eignet. Da es sich bei dem Balance-X-Sensor um ein neues Gerät handelt, existieren weder Vorstudien noch Referenzwerte für Patienten mit chronischem Rückenschmerz. Eigens für Patienten mit diesem Krankheitsbild wurde eine Testbatterie entwickelt und deren Ergebnisse mit den bereits etablierten Assessmentinstrumenten verglichen. Hier war es für uns wichtig, sowohl ein „objektives“ wie auch ein subjektives Verfahren einzubinden. Bei der Wahl des „objektiven“ Verfahrens haben wir uns für den Rückentest (RT) entschieden. Dabei wird mittels FPZ/Schnell-Messsystem an vier verschiedenen Geräten die Wirbelsäulenmobilität und isometrische Maximalkraft in den drei Körperachsen gemessen. Beim subjektiven Verfahren fiel unsere Wahl auf den Funktionsfragebogen Hannover-Rücken, der ein etabliertes Messinstrument zur Selbstbeurteilung der Funktionskapazitäten bei Alltags- und Gebrauchsbewegungen darstellt (Kohlmann, Raspe 1996).

Die Studie wurde durchgeführt in der Rehaklinik Am Kurpark in Bad Kissingen. Dabei handelt es sich um eine Rehabilitationsklinik mit dem Schwerpunkt auf chronischen Erkrankungen, Krebsleiden und Stoffwechselstörungen.

Als Studienteilnehmer konnten wir insgesamt 119 Patienten mit der Hauptdiagnose „chronisch, nicht-spezifischer Rückenschmerz“ rekrutieren. Diese Patienten wurden im Zeitraum von August 2008 bis Mai 2009 untersucht und haben bei einer durchschnittlichen Rehabilitationsdauer von 24 Tagen an im Mittel 92 Therapieeinheiten teilgenommen.

Zur Auswertung der Studie teilten wir die Daten in „alle Datensätze“ und die „komprimierten Datensätze“ ein. Die globale Betrachtung aller Datensätze erfolgte auf der Ebene der prozentualen Veränderung über den Zeitraum von t_1 zu t_2 . Hierzu wurden die Mittelwerte berechnet und verglichen. Zudem wurde der Pearson'sche Korrelationskoeffizient zur Überprüfung möglicher Wechselbeziehungen zwischen den Ergebnissen des BXS und denen des RT hinzugezogen.

Die komprimierten Datensätze enthalten nur Patientendaten, welche in Gänze vollständig sind, d. h. welche sowohl Eingangs- als auch Ausgangstests aller eingesetzten Assessmentinstrumente aufwiesen. Es verblieben 56 Datensätze.

Diese wurden gesondert mittels Korrelationsanalysen, Subgruppenunterteilungen (u. a. Altersklassen, Geschlechtsunterschiede), Mittelwertanalysen mit Standardabweichungen sowie Varianzanalysen betrachtet. Hierbei wurden keine geschlechtsspezifischen

Unterschiede in Bezug auf das Alter, die Rehabilitationsdauer, die allgemeine Behandlungsanzahl sowie die aktivierenden Maßnahmen gefunden.

Die Teilnehmer an dieser Studie waren insoweit vorselektiert, als dass sie ausschließlich aus dem Patientengut der Rehabilitationsklinik Am Kurpark rekrutiert wurden. Ferner durften sie keines der in Kapitel 2.2 genannten Ausschlusskriterien erfüllen. Das durchschnittliche Lebensalter der Probanden lag im Bereich des mittleren Erwachsenenalters (40 – 60 Jahre). Demzufolge handelte es sich hauptsächlich um Menschen, die noch mitten im Berufsleben stehen (Geis 2001). Bei der Unterscheidung nach Altersklassen fiel ein Schwerpunkt des männlichen Geschlechts im Alter zwischen 41 – 50 Jahren und einer des weiblichen Geschlechts bei 51 – 60 Jahren auf.

Der Hauptgrund für die Inanspruchnahme einer Rehabilitation war bei allen Patienten der chronische Rückenschmerz.

Im Verlauf der Studie sollte gezeigt werden, ob sich Veränderungen im Funktionszustand der Probanden – wie sie („objektiv“) vom Rückentest und (subjektiv) vom Funktionsfragebogen Hannover-Rücken dargestellt werden – auch mittels des Balance-X-Sensors nachweisen lassen.

Wie bereits erwähnt, musste hierfür zuerst eine Testserie für Patienten mit chronischen Rückenschmerzen entwickelt werden. Diese wurde in statische und dynamische Tests gegliedert. Zur Analyse der statischen Tests wurden die Parameter 'Leistung', 'Spurlänge' und 'Muskelleistungsfrequenz' und bei den dynamischen Tests nur Leistung und Muskelleistungsfrequenz herangezogen.

Bei der Beurteilung der BXS-Ergebnisse und dem Rückentest sollte beachtet werden, dass beide Tests teilweise unterschiedliche Systeme prüfen. Beim Rückentest wird unter bestmöglichem Ausschluss der Hüftmuskulatur sowie der Muskulatur der oberen und unteren Extremitäten explizit nur die Rücken- und Bauchmuskulatur getestet. Der Balance-X-Sensor hingegen erfasst das „komplette Haltungssystem“. Die Stabilität dieses „Systems“ ist nicht ausschließlich auf das ausgewogene Verhältnis von Bauch- und Rückenmuskulatur zurückzuführen (siehe Kap. 4.4). Die drei Grundlagen der posturalen Stabilität sind vielmehr visuell, vestibulär und propriozeptiv bedingt (Diamantopoulos et al. 2003; Brumagne et al. 2004, Popa et al. 2007). Des Weiteren spielen die Hüfte und die Fußgelenke eine wesentliche Rolle (Horak, Nashner 1986; Mok et al. 2004; Kollmitzer et al. 2000). Aus diesem Grund sind die Ergebnisse beider Tests nur in einem eingeschränkten Rahmen zueinander in Beziehung zu setzen. Dies spiegelt sich auch in den fehlenden Korrelationen zwischen BXS und RT wieder (s.u.).

Da für den BXS bisher keine Referenzwerte zur Verfügung stehen, ist es nicht möglich, Aussagen über die normale, tagesformabhängige Schwankungsbreite der Parameter

'Leistung', 'Spurlänge' und 'Muskelleistungsfrequenz' zu machen. Aus diesem Grund ist es nicht auszuschließen, dass die Ergebnisse in einer akzeptablen Schwankungsbreite liegen.

4.2 Praktikabilität der Testbatterie (Durchführung)

Die Testbatterie im Rahmen der BXS-Testung besteht aus fünf Tests. Diese ließen sich gut in den Rehabilitationsalltag integrieren.

Für die Testdurchführung gab es für jeden Test eine einheitliche Anleitung, die in Form eines schriftlichen Textes, welcher bei dem Testgerät (BXS) hinterlegt wurde und zuvor detailliert mit den Testern besprochen und geübt wurde. Nach entsprechender Begutachtung und Vorprüfungen wurde dieser Text - und die damit verbundene Einweisung der durchführenden Tester - als ausreichend betrachtet. Im Verlauf der Testdurchführung ergaben sich dann aber z.T. erhebliche Schwierigkeiten, die die standardisierte Durchführung (und damit die Ergebnisse) beeinflussten. Diese Probleme sollen hier geschildert werden, damit sie in nachfolgenden Studien vermieden werden können.

Es kam trotz Anleitung zu einigen Schwierigkeiten bei der korrekten Durchführung des Testablaufs. So wurde z.B. beim Test *Einbeinig rechts/links* nicht darauf geachtet, dass der Patient sich kontrolliert wieder setzt sowie die Zeit nach Erreichen der maximalen Anzahl von 20 Wiederholungen nicht gestoppt. Hierdurch kam es zu fehlerhaften Werten bei der Leistung. Auch bei dem Test *Einspringen rechts/links* kam es zu Fehlkoordinationen zwischen Untersucher und Proband. Bei diesem Test war es wichtig, dass der Untersucher im richtigen Moment die Messung startet (vgl. Kap. 2.4.3) und auch beendet. Hierbei kam es allerdings auch zu Fehlern des Auswertungsprogramms, da es des Öfteren die eingestellte Zeit von 5 Sekunden auf 40 Sekunden (wie beim vorausgegangenen Test) zurückstellte. Dann musste der Test wiederholt werden. Dieses Problem trat bis zum Ende der Studie rezidivierend auf und konnte nicht behoben werden.

Erst im Laufe der Testung konnten diese potentiellen Messfehler durch ständiges Üben und fortgesetztes Hinweisen auf die Fehlerquellen weitestgehend ausgeschaltet werden. Dies verdeutlicht, wie essentiell wichtig eine gute Schulung der Untersucher ist. Hierzu sollten die zukünftigen Untersucher zum einen mindestens einmalig selbst als „Probanden“ die Tests durchgeführt haben und zum anderen bei erfahrenen Kollegen einige Zeit hospitieren, um anschließend unter Aufsicht erste Tests eigenständig anzuleiten. So können Durchführungsfehler und Verständnisprobleme frühzeitig erkannt und behoben werden.

Im Verlauf zeigten sich bei den einzelnen Tests folgende Auffälligkeiten: Beim *Romberg-Stand* und beim *Einbein-Stand rechts/links* kam es zu keinen besonderen Beobachtungen. Probleme hierbei waren ausschließlich auf die Koordination der Patienten zurückzuführen.

Auch die *Kniebeuge* konnten von fast allen Patienten problemlos durchgeführt werden. Die korrekte Anleitung war hier ebenfalls sehr wichtig, da alle Probanden ihren maximalen Bewegungsumfang der Fußgelenke ausschöpfen sollten, dabei aber die Fersen auf dem Boden und der Rücken gerade bleiben sollte. Fehler bei der Ausführung der Tests hätten sich direkt in den BXS-Parametern niedergeschlagen.

Die Übung *Einbeinig rechts/links* barg neben den oben bereits beschriebenen anfänglichen Problemen der Untersucher vor allem konditionelle Schwierigkeiten für die Patienten. Vor allem sehr adipöse und wenig sportliche Patienten hatten große Schwierigkeiten diese Aufgabe über 40 Sekunden durchzuhalten. Hier spielte die Motivation durch den Untersucher eine entscheidende Rolle. Das Hauptproblem bestand in der schnellen Ermüdung der Muskulatur des Beines, was dazu führte, dass die Patienten versuchten, mit dem Oberkörper Schwung zu holen, um so das Bein zu entlasten. Dabei bestand die Aufgabe des Untersuchers darin, darauf zu achten, dass dies nicht geschah. Bei sehr adipösen Probanden kam es bei der Durchführung des Tests gelegentlich zu einer Überbelastung der Sensorzellen des BXS. Dies geschah, wenn die Kraft der Probanden nachließ und sie sich nicht mehr kontrolliert auf den Hocker setzen konnten. Dadurch kam es aufgrund der wirkenden Schwerkraft zu einer größeren auf die Sensoren wirkenden Kraft und damit zu einem Systemabsturz des BXS. Als Folge musste das Gerät neu gestartet und der Test wiederholt werden. Das Halten der Rückenspannung selbst stellte kein Problem dar. Eine weitere Schwierigkeit bei diesem Test ergab sich bei durch leichte Knieprobleme vorbelasteten Patienten. Obwohl durch die Ausschlusskriterien eine Gonarthrose zur Nichtteilnahme an der Studie führte, gab es dennoch Patienten mit leichten Knieproblemen, welche die Durchführung dieses Tests erschwerten bzw. verhinderten. Derartige Beobachtungen führten zum Ausschluss dieses Datensatzes aus der Auswertung. Im Verlauf der Studie stellte sich heraus, dass für große Probanden (>190 cm) auch die Sitzhöhe des Hockers einen Einfluss auf das Ergebnis dieses Tests hatte. Durch die längeren Beine großer Probanden herrschen bei ihnen andere Hebelverhältnisse. Aus diesem Grund war es für diese Probanden (n=3) schwieriger aus der sitzenden Position von dem Hocker aufzustehen. Diese Beobachtung sollte in folgenden Studien beachtet werden um die Testergebnisse nicht zu verfälschen.

Zur Durchführung des Tests *Einspringen rechts/links* lagen von vorn herein erschwerte Bedingungen vor. Die drei wichtigsten Punkte waren: Die Notwendigkeit der exakten Koordination zwischen Untersucher und Patient zu Beginn des Tests, die genaue Beobachtung der Messergebnisse auf dem Computerbildschirm durch den Untersucher, um den richtigen Abbruchzeitpunkt festzustellen, sowie das bereits beschriebene Problem mit der Computersoftware (s.o.). Hierdurch ist ersichtlich, dass der Test *Einspringen rechts/links* reichlich Fehlerquellen bot. Ein weiteres Problem bei der Testdurchführung war die

Tatsache, dass das Ergebnis des Parameters 'Leistung' stark von der Sprunghöhe des Patienten abhängt. Da die Sprunghöhe bei dieser Versuchsreihe nicht festgelegt war, bot sich hier eine Möglichkeit für den Probanden den Schwierigkeitsgrad selbst mit zu bestimmen, indem er eigenständig entschied wie hoch er sprang. Obwohl es sich insgesamt meist eher um ein „Aufsteigen“ als um ein „Aufspringen“ handelte, so lag dennoch eine Auslenkung des Schwerpunktes vor, aus welcher es zur Ruhe zu kommen galt. Je größer die Sprunghöhe, desto mehr Kraft wirkt auf die Plattform. Außerdem kommt es durch eine vermehrte Sprunghöhe eher zu Schwierigkeiten bei der Balancefindung, was auch zu einer Veränderung der Messwerte führt. Die Sprunghöhe ließ sich vorab nicht präzise festlegen, wodurch die daraus entstehenden Ungenauigkeiten nicht zu kontrollieren waren. Des Weiteren wurde die Auswertung durch die Tatsache erschwert, dass es sich bei diesem Test um eine Mischung aus statischem und dynamischem Test handelt. Dies hat zur Folge, dass die Messergebnisse zwischen denen der statischen und der dynamischen Tests liegen. Der Mangel an Referenzwerten erschwerte die Interpretation der Messergebnisse.

Ein weiteres Problem ergab sich bei der Auswertung der Ergebnisse, wobei hohe Schwankungsbreiten der BXS-Parameter „Leistung“ und „Spurlänge“ auffielen. Lediglich die Muskelleistungsfrequenz liegt in einem vertretbaren Schwankungsbereich. Aufgrund der sehr starken Variabilität der zwei erstgenannten Parameter ist eine statistische Beurteilung im Rahmen parametrischer Verfahren nicht sinnvoll. Aus diesem Grund wurde sich bei der intensivierten Auswertung der BXS-Ergebnisse auf die Muskelleistungsfrequenz beschränkt. Ursachen für diese extremen Abweichungen finden sich in der Testdurchführung und im Übungsdesign. Die größten Spannweiten sind bei den dynamischen Tests auffällig. Diese lassen den größten individuellen Spielraum bei der Bewegungsausführung, so kann man Kniebeuge je nach Konditionszustand z.B. schneller oder langsamer ausführen, wobei es bei schnellerer Ausführung auch zu ausgeprägteren Gleichgewichtsproblemen kommen kann. Diese müssen ausgeglichen werden, was sich wiederum in der Leistung und Muskelleistungsfrequenz widerspiegelt. Die Ausführung der Tests ist außerdem von der Motivation des Probanden abhängig. Vor allem beim *Aufstehen von einem Stuhl mit einem Bein* ist ein gewisses Maß an Kondition notwendig. Um diese Übung 20mal korrekt zu wiederholen braucht es u.a. Kraft im Oberschenkel und auch den Willen es richtig zu machen und bis zum Ende durchzuhalten. Gibt es hier Zweifel, kommen schnell unterstützende Bewegungen, wie z.B. das Absetzen des Beines oder Schwungholen mit dem Oberkörper zum Einsatz. Dies hat ebenfalls Auswirkungen auf die Testergebnisse. Die Durchführung der statischen Tests ist um einiges leichter und weniger anstrengend. Jedoch kann es hier vor allem beim *Einbein-Stand* zu Gleichgewichtsproblemen kommen. Beginnt ein Proband zu wackeln, muss er vermehrt Kraft aufwenden, um sein Gleichgewicht

wieder zu erlangen. Dies hat v.a. eine Zunahme der aufzuwendenden Leistung und der Spurlänge zur Folge.

Um herauszufinden, ob es sich bei den Gleichgewichtsschwierigkeiten um eine Ausnahme oder um ein generelles Problem handelt, empfiehlt sich eine mehrmalige Wiederholung jedes Tests und die Auswertung z.B. des besten Ergebnisses von dreien („Best of three“). Auch bei den dynamischen Tests kann eine zusätzliche Normierung angestrebt werden, um den individuellen Ausführungsspielraum zu minimieren. Hierbei wären z.B. die Festlegung einer maximalen Beugtiefe in Abhängigkeit von der Größe und die Angabe einer Wiederholungsanzahl der Kniebeuge denkbar.

All diese Schwierigkeiten im Zusammenhang mit diesem Test lassen Zweifel an seiner Eignung in einer solchen Testbatterie aufkommen. Um im Rahmen dieser Arbeit aber auch (erste) Aussagen über die inhaltliche Bedeutung der durch das BXS-System erfassten Parameter erhalten zu können, haben wir uns zur Sicherung der Objektivität der Testdurchführung bei der weiteren Auswertung auf diejenigen Test mit der noch besten Standardisierung und den geringsten Messfehler-Wahrscheinlichkeiten beschränkt.

4.3 Die BXS-Ergebnisse

Kraftmessplatten wie den Balance-X-Sensor gibt es in verschiedenen Ausführungen auf dem Markt. Neben Soehnle Professionell bieten auch Firmen wie z.B. Neurodata (Schwesig et al. 2006) oder Tönnies (Diener, Dichgans 1988) eigene Posturographiegeräte inklusive Software an. Weder die Funktionsweise noch die zu bestimmenden Parameter unterliegen einer Normierung, wodurch ein Vergleich der BXS-Parameter mit Ergebnissen anderer Studien kaum möglich ist (Forsman et al. 2007). Allerdings stößt man in der Literatur immer wieder auf Parameter, welche mit der Spurlänge vergleichbar sind (Baretto et al. 2002). Baretto et al. zählen die Spurlänge sogar zu den vier für die Praxis nützlichen Posturographieparametern (Baretto et al. 2002). Daher wurde diese auch hier zur Auswertung herangezogen. Aufgrund der Annahme, dass für eine Zunahme der Kraft der Rückenmuskulatur im Verlauf einer Rehabilitation nicht Muskelzuwachs, sondern vielmehr eine verbesserte intermuskuläre Koordination verantwortlich ist (Reuss-Borst et al. 2008), wurde vermutet, dass auch der BXS-Parameter 'Muskelleistungsfrequenz' eine Veränderung anzeigen wird. Diese spiegelt die Reaktionsfähigkeit der Muskulatur und deren Funktionszustand wider. In Folge dessen wurde erwartet, dass aufgrund der Verbesserung der intermuskulären Koordination der Körper weniger Arbeit leisten müsste, um bestimmte Bewegungen auszuführen. Dies sollte sich in einem Absinken des Parameters *Leistung* zeigen.

Bei der intensivierten Auswertung der komprimierten Datensätze konnten aufgrund der großen Spannweite der Ergebnisse die Parameter *Leistung* und *Spurlänge* nicht berücksichtigt werden. Die Gründe hierfür sind in Kap. 4.2 zusammengefasst.

In Bezug auf die Muskelleistungsfrequenz zeigen die Ergebnisse zwar einen leichten Anstieg der Werte, jedoch keine signifikanten Änderungen im Rehabilitationsverlauf. Dieses Ergebnis kann mehrere mögliche Ursachen haben. Zum einen kann vermutet werden, dass die Rehabilitationszeit von i.d.R. 3 Wochen nicht ausreicht, um eine entsprechende Verbesserung zu erzielen. Ein Hinweis hierauf sind die durchaus vorhandenen Verbesserungen dieser Werte, welche jedoch nicht signifikant sind.

Zum anderen besteht die Möglichkeit, dass sich dieser Parameter nicht zur Verlaufsbeurteilung eignet. Da bisher keine Referenzwerte zur Verfügung stehen, sind Normalwerte für gesunde Populationen nicht bekannt. Daher ist es nicht sicher zu sagen, dass die bei den Rückenschmerzpatienten erzielten Ergebnisse außerhalb der Norm liegen. Zudem ist der BXS nicht in der Lage, spezifische Muskelgruppen zu testen. Zwar wurden mittels der Fourier-Analyse verschiedene Frequenzbereiche für unterschiedliche posturale Systeme unterschieden, jedoch ist hiermit keine Zuordnung zu bestimmten Muskelgruppen möglich (Schwesig et al. 2006, Oppenheim et al. 1999, Taguchi 1978, DeWitt 1972). Der BXS kann lediglich Aussagen über das gesamte „Haltungssystem“ treffen. Dieses ist insgesamt mit all seinen Muskeln, Gelenken sowie visuellen, vestibulären und propriozeptiven Informationen für einen stabilen Stand verantwortlich (Liau et al. 1999; Luoto et al. 1996 und 1998, Brumagne et al. 2000). Obwohl in der Rehaklinik Am Kurpark ein interdisziplinäres Behandlungskonzept angeboten wird und hierzu auch Entspannungsübungen, koordinatives Training, Gymnastik und Gerätetraining etc. gehören, wurden die aktiven Trainingseinheiten dennoch öfter in Anspruch genommen als andere (vgl. Kap. 3.6.1). Zudem stand es den Patienten frei, zusätzliche Trainingseinheiten an den Geräten selbstständig durchzuführen. Dies lässt vermuten, dass insgesamt der muskulären Kräftigung etwas mehr Beachtung geschenkt wurde als den anderen Übungen. Dies kann natürlich aus dem Verständnis der Patienten herrühren, dass Rückenschmerzen vor allem aus verminderter Kraft der Rückenmuskeln resultieren. Fest steht jedoch, dass eine Aufhebung des Kraftdefizites und eine Verbesserung der Beweglichkeit nicht ausreichen, um alltägliche Bewegungsfunktionen wieder herzustellen. Neben Kraft, Beweglichkeit und Ausdauer sind koordinative Fähigkeiten entscheidend (Wilke und Froböse 1998).

4.3.1 Statische Tests

Anhand der in Kapitel 3.3.1 dargestellten Ergebnisse lässt sich erkennen, dass die meisten BXS-Ergebnisse den Erwartungen entsprechen. Im Verlauf der Rehabilitation sollte die aufgewendete Leistung bei allen statischen Tests (*Romberg*, *Einbein-Stand rechts/links*) und

dem Test *Einspringen rechts/links* sinken. Es wurde erwartet, dass es wie bereits von Reuss-Borst et al. vermutet, durch das Training zu einer verbesserten intra- sowie intermuskulären Abstimmung kommt und hierdurch die muskulären Reserven besser ausgeschöpft werden können (Reuss-Borst et al. 2008). Als Zeichen dafür sollte die Muskelleistungsfrequenz steigen und die Muskulatur weniger Leistung aufbringen müssen, um den Masseschwerpunkt zu stabilisieren. Eine Zunahme der Balancefähigkeit, aufgrund der verbesserten muskulären Zusammenarbeit, sollte sich in einer Abnahme der Spurlänge widerspiegeln. Wie im Auswertungsteil (Kap. 3.3.1) zu sehen ist, konnten diese Annahmen bis auf eine Ausnahme bestätigt werden. Während sich alle Parameter der statischen Tests den Erwartungen entsprechend entwickelten, kam es bei der Spurlänge des Tests *Romberg* zu einer Zunahme um 2,16%. Bei einem Ergebnis von rund 33 mm/s zum Zeitpunkt t_1 , verlängerte sich die Spurlänge zum Ende der Rehabilitation im Durchschnitt um ca. 1 mm/s (34 mm/s zu t_2). Da es sich um einen sehr kleinen Wertebereich handelt, können hier kleine Schwankungen, die eventuell sogar tagesformabhängig sein könnten, bereits zu auffallenden prozentualen Änderungen führen. Aus diesem Grund sollte dieser geringen Verschlechterung der Spurlänge beim Test *Romberg* keine größere Bedeutung beigemessen werden. Es ist allerdings zu erkennen, dass der Test *Romberg* aufgrund seiner Ausführung andere Muskelgruppen testet als die anderen Tests. Zum einen handelt es sich bei diesem Test um den einzigen dieser Testbatterie, welcher mit geschlossenen Augen durchgeführt wurde. Ohne visuelle Kontrolle ist es ungleich schwerer den Körperschwerpunkt zu stabilisieren als mit der selbigen. Dies konnte auch von Acconero gezeigt werden. Er fand bei geschlossenen Augen generell eine erhöhte Rigidität im Stand (Acconero et al. 1997). Zum anderen gehört zur korrekten Ausführung ein Stand mit beiden Beinen fest auf dem Boden. Diesen Stand ist der Körper gewöhnt, da er den „normalen“ aufrechten Stand widerspiegelt. Dies zeigt sich auch in den Testergebnissen, welche sowohl zu Beginn als auch am Ende der Rehabilitation sehr gute Werte ergaben. Durch die bereits sehr guten Ausgangsergebnisse kam es nur zu einer geringen Schwankung, welche wie bereits erwähnt, vermutlich tagesformabhängig ist. Dies lässt den Schluss zu, dass der Test *Romberg* nicht sensibel genug auf Änderungen der Rückenmuskulatur reagiert. Gute Einsatzmöglichkeiten für diesen Test gibt es bei der Diagnostik und der Therapiekontrolle bei Störungen des vestibulären Systems, wie z. B. Schwindel oder Tinnitus (Norree und Forrez 1986, Alund et al. 1991). Diese Krankheitsbilder haben größeren Einfluss auf den aufrechten, festen Stand.

Bei der Auswertung der beiden statischen Tests zeigte sich eine Diskrepanz der Ergebnisse. Wie in den Abb. 7 – 9 zu erkennen, liegen die durchschnittlichen Ergebnisse von Leistung und Spurlänge beim *Einbein-Stand rechts/links* deutlich höher und die Muskelleistungsfrequenz im Gegensatz dazu niedriger als beim Test *Romberg*. Eine

Erklärung hierfür könnte sein, dass sich die Parameter beim *Romberg* auf den festen Stand mit beiden Beinen auf der Erde und mit geschlossenen Augen beziehen. In dieser Konstellation muss die Muskulatur unter Ausschluss des visuellen Systems ausgehend von der Ruhe des Schwerpunktes nur geringfügige Auslenkungen ausgleichen. Daher hat der Proband einen relativ festen Stand, wodurch eine gute Balance herrscht. Aus diesem Grund sind nur wenige Ausgleichsbewegungen nötig, was zu einem geringeren Leistungsaufwand zur Stabilisierung des Schwerpunktes führt.

Im Gegensatz dazu sind beim *Einbein-Stand rechts/links* größere Auslenkungen des Schwerpunktes zu erwarten, da das Gleichgewicht auf einem Bein schwerer einzustellen ist als beim festen, beidbeinigen Stand. Dadurch muss zur Stabilisierung des Schwerpunktes ein größerer Anteil an Skelettmuskelarbeit verrichtet werden. Für diese Korrektur sind zusätzliche und andere Muskelgruppen notwendig als beim *Romberg*, was zu einer höheren Leistung und Spurlänge führt. Die Muskelleistungsfrequenz hingegen ist beim *Romberg* höher, da der beidbeinige Stand auf der Erde einen natürlichen Zustand des menschlichen Körpers darstellt. Die meiste Zeit unseres Lebens haben wir beide Beine auf der Erde. Daher ist der Körper in dieser „Übung“ gut trainiert und es herrscht eine gute Zusammenarbeit der dazu notwendigen Muskelgruppen.

Aus den bereits in Kapitel 4.2 beschriebenen Gründen wurde der Test *Einspringen rechts/links* für diese Testbatterie als ungeeignet befunden. Daher soll er in der Diskussion keine weitere Rolle spielen.

4.3.2 Dynamische Tests

Bei den dynamischen Tests (*Kniebeuge, Einbeinig rechts/links*) handelte es sich primär um Kraft-Ausdauer-Tests, weshalb eine Steigerung der Leistung erwartet wurde. Hier sollte durch ein besseres Zusammenspiel der Muskulatur auch deren Effektivität gesteigert werden, was sich durch mehr Leistungsfähigkeit in Kraft und Ausdauer darstellen sollte. Diese Erwartung wurde durch die Testergebnisse bestätigt. Auch eine Verbesserung der intra- sowie intermuskulären Abstimmung lässt sich anhand des BXS nachweisen. Der Marker hierfür ist der Parameter 'Muskelleistungsfrequenz', welcher den Erwartungen entsprechend bei allen Tests – mit Ausnahme *Einbeinig rechts* – zugenommen hat. Höhere Muskelleistungsfrequenzen zeigen ein schnelleres Reagieren der Muskulatur auf Auslenkungen des Schwerpunktes an und stehen somit für ein besseres Zusammenspiel der Muskelgruppen.

Die Ergebnisse des Tests *Kniebeuge* weisen die größten Veränderungen der Parameter 'Leistung' und 'Muskelleistungsfrequenz' auf. Mit einer Leistungssteigerung von 61,8% und einem Anstieg der Muskelleistungsfrequenz um 4,41% liegen die Werte deutlich über allen der anderen BXS-Tests. Da es sich bei den *Kniebeugen* um eine den meisten Menschen

bekannte Übung handelt, könnte es möglich sein, dass sich die Probanden aufgrund der Vertrautheit der Bewegungen mehr zugetraut und somit mehr Energie und Ehrgeiz in den Test investiert haben. Außerdem war die Zeitspanne des Tests nur 10 Sekunden und der Ablauf weniger anstrengend als beim Test *Einbeinig rechts/links*. Aus diesem Grund ist der konditionelle Anspruch weit weniger stark ausgeprägt und daher eventuell schneller eine Leistungssteigerung zu erzielen.

Beim Test *Einbeinig rechts/links* stand die Kraftausdauer im Vordergrund. Während der Hauptteil der Muskelarbeit von der Oberschenkelmuskulatur verrichtet wurde, sollte der gerade Rücken ein Schwungholen mit Hilfe des Oberkörpers verhindern. Das Ziel dieses Tests ist, einen Rückschluss auf die Ausbildung der Rückenmuskulatur ziehen zu können. Für gute Testergebnisse ist eine entsprechende Spannung erforderlich, um während der Ausführung den Rücken gerade halten zu können. Dennoch lässt sich nicht abstreiten, dass der Schwerpunkt dieser Übung bei der Oberschenkelmuskulatur liegt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Probanden diesbezüglich beidseits relativ ausgewogen trainiert waren (s.u.). Dennoch erlaubt die alleinige Auswertung der Parameter 'Leistung' und 'Muskelleistungsfrequenz' keine umfassende Beurteilung des Tests *Einbeinig rechts/links* in seiner Gesamtheit. Um diesen Test weiter zu analysieren und so auch dem Aspekt der Ausdauer gerecht zu werden, empfiehlt es sich, in einer weiteren Studie auch die benötigte Zeit bzw. die erreichte Anzahl der Wiederholungen in vierzig Sekunden auszuwerten.

4.3.3 Unterschiede zwischen rechts und links

Bei der Betrachtung der BXS-Ergebnisse zeigen sich bei den Tests, welche sich einzeln auf das rechte und auf das linke Bein bezogen (*Einbein-Stand rechts/links* und *Einbeinig rechts/links*), Auffälligkeiten im Seitenvergleich. Wie bereits im Kapitel 3.3.1 beschrieben und in Abbildung 7 dargestellt, fiel beim *Einbein-Stand links* zum Zeitpunkt t_1 ein deutlich höherer Leistungsaufwand zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes auf als beim rechten Bein. Dies ist ausgehend von der Dominanz der rechten Seite nicht sonderlich verwunderlich, da dann zu erwarten war, dass die linke Seite etwas schlechter abschneiden könnte. Zum Zeitpunkt t_2 findet sich allerdings ein deutlicherer Rückgang der Leistung der linken im Vergleich zur rechten Seite (re: 17,37%, li: 57,51%). Die Parameter 'Spurlänge' und 'Muskelleistungsfrequenz' zeigen beim linken Bein sowohl bei t_1 als auch bei t_2 minimal bessere Werte als beim rechten Bein (vgl. ATab.1 im Anhang). Ähnliches lässt sich beim Test *Einbeinig rechts/links* beobachten. Hier dominierte zwar zu Beginn der Rehabilitation noch die rechte Seite, doch zum Ende zeigten sich die Seitenunterschiede zu Gunsten des linken Beins (vgl. Kap. 3.3.1). Es kam sogar zu einer Abnahme der Muskelleistungsfrequenz des rechten Beines um 1,28%. Bis auf diese Ausnahme zeigen sich bei allen Parametern höhere prozentuale Verbesserungen eher links als rechts. Eine mögliche Ursache für diese

Beobachtung ist, dass sich die Erfolge der während der Rehabilitation angewandten Therapiemaßnahmen besonders deutlich an der nicht-dominanten Körperseite manifestieren, da dort die Defizite am größten sind bzw. diese vermehrt trainiert werden. Auch das Phänomen der „Rechts-“, bzw. „Links-Füßer“ bietet eine Erklärung für die Ergebnisse. Hier kommt es analog zu den Rechts- bzw. Linkshändern zu einer Dominanz des entsprechenden Fußes/Beines.

4.3.4 Korrelationsanalyse

Die Korrelationsanalyse der BXS-Tests untereinander weist mittlere, jedoch signifikante Zusammenhänge zwischen der MLF der Tests *Kniebeuge* und *Einbeinig rechts*, *Einbein-Stand rechts* und *links* und bei den Tests *Einbeinig rechts* und *links* auf. Die Korrelation zwischen den *Kniebeugen* und dem *Einbeinigen Aufstehen von einem Stuhl mit dem rechten Bein* weist einen negativen Zusammenhang auf. Dieser ist bei einem r von $-0,264$ eher schwach ausgeprägt und mit einem p von $0,049$ gerade noch im signifikanten Bereich. Somit ist ein zufälliger Zusammenhang nicht sicher auszuschließen. Jedoch ist zu beachten, dass die Kniebeugen jeweils vor dem Test *Einbeinig rechts* ausgeführt wurden. Daher war die Muskulatur zu diesem Zeitpunkt bereits einmal belastet worden. Das linke Bein hingegen hatte eine längere Erholungspause, da es während des Tests mit dem rechten Bein geschont wurde. Dies könnte erklären, weshalb das Korrelationsergebnis darauf hindeutet, dass bei gutem Ergebnis der Kniebeuge, die Muskelleistungsfrequenz beim Test *Einbeinig rechts* etwas schlechter abschneidet.

Die Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen beider Beine der letzteren zwei Korrelationen lassen auf einen ausgewogenen Trainingserfolg beider Seiten schließen. Zwar weisen die durchschnittlichen Mittelwerte der Änderung zwischen t_1 und t_2 darauf hin, dass zu Beginn der Rehabilitation die rechte Seite etwas bessere Ergebnisse erzielte als die linke (s. u.), jedoch deutet die Korrelation an, dass letztlich ein ausgewogener Trainingseffekt zu verzeichnen ist. Beide Seiten haben gute Verbesserungen erzielt.

Ein weiterer negativer Zusammenhang zeigt sich zwischen der Muskelleistungsfrequenz beim Romberg-Stand und dem Alter der Probanden. Bei einem Korrelationskoeffizienten von $r=-0,348$ besteht zwar nur ein mittlerer Zusammenhang, jedoch ist dieser mit einem p vom $0,009$ signifikant.

In der Literatur sind Angaben zur Altersabhängigkeit der Gleichgewichtskontrolle uneinheitlich. In einer Studie von Ojala et al. (1989) wurde kein Einfluss des Lebensalters auf posturographisch erfasste Gleichgewichtskontrolle gefunden. Norre et al. konnten jedoch einen geringfügigen Rückgang der Standstabilität mit zunehmendem Alter feststellen. Hierfür sei eine Abnahme der Afferenzen der Systeme und Einschränkungen der zentralen

Integration und Steuerung verantwortlich (Norre et al. 1987). 1988 konnte auch Weismann eine zunehmende Abnahme der Standstabilität im Alter feststellen. Laut Aust gäbe es einen Alterseinfluss auf die Genauigkeit des Zusammenwirkens von propriozeptivem und visuellem System. In seinen Studien konnte er eine Zunahme der Interaktionen zwischen visuellem und propriozeptivem System ab dem Kindesalter zeigen. Diese verzeichnete jedoch eine deutliche Abnahme ab dem 40. Lebensjahr (Aust 1991, 1995 und 1996). Als Ursache der funktionellen Abnahme der propriovisuellen Interaktionen wiesen Aust (1995) und Seifert (1995) histologisch einen alterstypischen Abbau muskulärer, sensibler und zentraler Strukturen nach. Die deutlichsten Veränderungen der Koordination werden in der Literatur durchweg erst jenseits des 60. Lebensjahres nachgewiesen. Die Probanden dieser Studie waren zwischen 21 und 65 Jahre alt, wobei nur 3 jenseits des 60. Lebensjahres waren.

In einer Studie von 1997 wurden von der Arbeitsgruppe von Acconero et al. altersabhängige Differenzen in Strategien des aufrechten Standes mittels multisegmentaler Posturographie in virtueller Realität geprüft. Dabei wiesen Ältere einen rigideren Stand auf, wobei sich die Rigidität im Stand bei geschlossenen Augen generell erhöhte. Jedoch konnte auch gezeigt werden, dass dies bei Jüngeren stärker ausgeprägt war als bei älteren. Je jünger der Proband, desto größer war die Zunahme der Rigidität zwischen offenen und geschlossenen Augen. Es wird vermutet, dass eine Ursache hierfür darin liegen könnte, dass die älteren Probanden durch Einnahme einer rigideren (militärisch steifen) Haltung ihre Defizite im Sinne einer Kompensation begrenzt ausgleichen könnten (Acconero et al. 1997).

Die Ergebnisse von Acconero et al. bestätigen die Beobachtungen dieser Studie. Ein Zusammenhang zwischen einem BXS-Ergebnis und dem Alter konnte nur beim Romberg-Test festgestellt werden, da er als einziger unter Ausschluss des visuellen Systems durchgeführt wurde.

4.4 Zusammenhang der BXS-Ergebnisse mit Rückentest

4.4.1 Allgemeines

Die Ergebnisse des Rückentests (RT) zeigen durchweg Verbesserungen der ausgewerteten Parameter. Sowohl die Beweglichkeit als auch die Kraft zeigen eine Zunahme. Gleiches gilt für das Verhältnis von Bauch- zu Rückenmuskulatur.

Auch bei den komprimierten Datensätzen können signifikante Verbesserungen der Mobilität beim Beugen und Strecken, der seitlichen Mobilität sowie der Kraft der Bauch- und der Rückenmuskulatur gezeigt werden. Jedoch wird die vorhandene Zunahme des Quotienten aus Bauch- und Rückenmuskulatur in der statistischen Berechnung nicht signifikant. Zudem lässt sich ein geschlechtsspezifischer Unterschied bei der Entwicklung der Mobilität

feststellen. Dabei zeigen Frauen eine stärkere Verbesserung bei der Mobilität beim Beugen und Strecken ($F=6,916$, $p<0,001$) und der seitlichen Mobilität ($F=5,47$, $p=0,023$).

In der Korrelationsanalyse werden mittlere, jedoch signifikante Zusammenhänge zwischen der Kraft der Bauch- und der Kraft der Rückenmuskulatur sowie zwischen der Bauchmuskulatur und dem BM/RM sichtbar. Zu den anderen Assessmentmethoden können keine Zusammenhänge gefunden werden.

Viele Autoren betonen die übergeordnete Stellung der Rumpfmuskulatur zum Bewegen der Extremitäten (Froböse und Nellesen 1998, Broll-Zeitvogel et al. 1999). Diese Bewegungen werden als Stereotype bezeichnet. Bei vielen Rückenschmerzpatienten wurde eine Störung dieser die Bewegung einleitenden Automatismen festgestellt. So konnten Hodges und Richardson (1996) feststellen, dass zum Anheben des Armes zunächst der M. transversus abdominis kontrahiert wird und dies bei Rückenschmerzpatienten deutlich verzögert auftrat. Dies wird als Defizit der neuromuskulären Koordination interpretiert. Bei allen Alltagsbewegungen ist eine regelrechte Rumpfstabilisierung erforderlich. Dabei ist die individuelle Leistungsfähigkeit von der neuromuskulären Belastungsfähigkeit abhängig. Laut Broll-Zeitvogel et al. komme es bei zu geringer neuromuskulärer Kapazität bereits bei leichten Leistungsanforderungen zur Überbeanspruchung der Muskulatur sowie der Bänder und Gelenkstrukturen. Bei rezidivierender Überbeanspruchung kann es zu chronischen Überlastungsreaktionen mit akuter und chronischer Aktivierung von Proprio- und Nozizeptoren kommen, welche eine reflektorische Muskeltonuserhöhung und Inhibition zur Folge haben. Diese führen zur Ausbildung neuromuskulärer Dysbalancen (Broll-Zeitvogel 1999). Eine Verbesserung dieser Dysbalancen lässt sich laut Reuss-Borst et al. (2008) anhand der Zunahme der Kraft der Rumpfmuskulatur im Rückentest nachweisen.

Auch von Bernard und Winchenbach (Bernard 2002, Winchenbach 2003) wurde ein Zusammenhang zwischen der Kraft der Rumpfmuskulatur und der Haltung hergestellt, so dass man erwarten könnte, dass aufgrund dieser Ergebnisse eine Verbesserung der Haltung eingetreten ist. Dies sollte sich anhand der BXS-Ergebnisse zeigen. Wie Basmajian bereits 1974 (Basmajian 1974) beschrieb, ist eine aufrechte Körperhaltung nur über eine aktive Muskulatur möglich. In diesem Zusammenhang wird oft von einer muskulären Balance gesprochen. Diese bezieht sich insbesondere auf das Gleichgewicht zwischen Bauch- und Rückenmuskulatur. Die muskuläre Balance wird nach Klee wie folgt definiert: „Bei der muskulären Balance wird das Gelenk durch das Verhältnis der Drehkräfte der das Gelenk überziehenden antagonistischen Muskeln in der normalen, physiologischen Stellung gehalten. Bei der muskulären Dysbalance ist dieses Verhältnis gestört, das Gelenk befindet sich in einer Stellung, bei der Kräfte auftreten, die zu Verschleißerscheinungen des Gelenkes führen.“ (Klee 1994, S. 24). Laut Müller und Hille wird vermutet, dass diese muskulären Dysbalancen vielen Belastungsstörungen vorausgehen und solche induzieren (Müller, Hille

1996). Die Belastungsstörungen wiederum führen zu einer verminderten Stabilität und damit zu einer Verschlechterung der Balancefähigkeit. Aus diesem Grund wurde erwartet, dass von allen Rückentest-Parametern vor allem der BM/RM einen Einfluss auf die Stabilität und das Gleichgewicht hat.

Dementsprechend sollte bei einer Verbesserung des BM/RM im Rückentest ebenfalls eine Verbesserung von Leistung und Spurlänge der BXS-Tests dargestellt werden können. Da in der Korrelationsanalyse keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den genannten Parametern nachzuweisen waren, konnten diese Erwartungen nicht durch die Ergebnisse belegt werden. Ein Grund hierfür könnte sein, dass für die Stabilisierung des Masseschwerpunktes nicht nur das System der Rückenmuskulatur sondern auch die Hüft-, Knie- und Fußgelenke sowie neuronale Prozesse entscheidend sind (z. B. Kollmitzer et al. 2000; Popa et al. 2007). Zudem wird heute der Rückenschmerz nicht mehr allein auf hypotrophe Muskulatur zurückgeführt. Vielmehr weiß man um die zumindest gleichrangige Rolle der Koordination. Bittmann und Badtke (1999) führten eine Studie zum Rückenschmerz unter dem Gesichtspunkt der Koordination durch. Sie stellten fest, dass die Körperhaltung weniger ein Problem der Muskelkraft ist, sondern vielmehr die Veränderungen in der Koordination der Muskeln eine wesentliche Rolle spielen. Auch Gröber und Janda treffen ähnliche Feststellungen. Laut Gröber besteht die Haltung nur zu einem bestimmten Anteil aus den kapazitativen Fähigkeiten der posturalen Muskulatur. Der größere Anteil resultiert aus der Koordination und dem Körperbewusstsein (Gröber 1999). Laut Janda (1983) müsste ein gut ausbalancierter Stand mit wenig oder gar keiner Muskelaktivität zu realisieren sein. 1881 konnte von Poland et al. sogar gezeigt werden, dass bei schlecht ausgeglichener Körperhaltung im Vergleich zu einem gut ausbalancierten Stand eine deutliche Erhöhung des Energieverbrauchs zu verzeichnen ist.

Daher besteht die Möglichkeit, dass eine Verbesserung der Muskelkraft sowie der Mobilität der Rückenmuskulatur allein nicht ausreicht, um die Ergebnisse des BXS zu beeinflussen.

4.4.2 BM/RM

Wie bereits erwähnt, erlaubt der BM/RM Aussagen bezüglich der Stabilität des Rumpfes, welche z.B. bei der Ausführung des *Romberg*-Tests neben dem System der Hüftstabilisatoren und der distalen Extremitäten (Kollmitzer et al. 2000; Popa et al. 2007) von enormer Wichtigkeit ist. Bei einem unausgeglichene Verhältnis der beiden Gegenspieler Bauchmuskulatur und Rückenmuskulatur müsste jeweils der schwächere Part mehr Arbeit aufwenden, um das System im Gleichgewicht zu halten. Des Weiteren spiegelt sich klinisch ein schlechtes Zusammenspiel von Rumpfmuskulatur und den unteren Extremitäten in einer größeren Schwankung wider, was auf dem BXS eine Erhöhung der Spurlänge zur Folge hat

(Popa et al. 2007). Ein hoher BM/RM sollte demnach eine Verkürzung der Spurlänge zur Folge haben.

Mittels des *Romberg*-Tests wird das regungslose Stehen unter Ausschluss des visuellen Systems dargestellt. Hierbei muss der Proband seinen Masseschwerpunkt stabilisieren. Dies geschieht in einem Zusammenspiel verschiedener neuronaler Prozesse, welche vom ZNS gesteuert und über die Fußsohle auf die Messplattform übertragen werden (Popa et al. 2007). Die Reaktionen des Hüftsystems und der Fußgelenke sind stereotyp. Bei der Stabilisierung des Masseschwerpunktes kommt es zu einer Mischung aus diesen beiden Subsystemen (Mok et al. 2004) und des Rumpfes. Das erhobene Testergebnis spiegelt allerdings nur ein Element (die Rumpfmuskulatur) des an der Stabilisation des Schwerpunktes beteiligten Systems wider, wodurch keine Rückschlüsse auf die Gesamtheit des Systems gezogen werden können.

In Abhängigkeit von der Anforderung an das „System Mensch“ spielen der Rumpf, die Hüfte, die Knie und die Fußgelenke unterschiedlich starke Rollen bei der Ausbalancierung des Masseschwerpunktes. Vor allem bei dynamischen Tests ist auch die Tiefensensibilität ein wichtiger Kontrolleur des Ablaufes. Sie ist für die Wahrnehmung der Gelenkbewegungen, die Kraft, Anstrengung und das Gewicht im Zusammenhang mit der Muskelkontraktion zuständig (Brumagne et al. 2000). Beim Test *Einbeinig rechts/links* z.B. spielt sie neben einem ausgewogenen Quotienten der BM/RM eine wichtige Rolle. Hierbei sollte der Rücken gerade gehalten werden, was z.B. bei einer im Vergleich stärker ausgeprägten Bauchmuskulatur nur erschwert möglich wäre. Mittels dieser Einschränkung sollte ein Schwungholen mittels des Oberkörpers – durch vermehrtes Vorschwingen – vermieden werden. Weitere Herausforderungen bei diesem Test waren die Koordination des Gleichgewichtes beim Aufstehen mit nur einem Bein sowie das kontrollierte Absetzen. Dies erforderte ein gutes, kontrolliertes Zusammenspiel der Gelenke und Muskeln.

4.4.3 Mobilität

Neben den genannten Faktoren, hat auch die Mobilität des Patienten einen Einfluss auf die Stabilität. Eine Einschränkung der Mobilität ist entweder auf eine Verkürzung der Muskulatur zurückzuführen oder auf ein Überwiegen der Antagonisten. Beides spricht für ein unausgewogenes Verhältnis der Muskelgruppen zueinander. Carpenter et al. konnten zeigen, dass eine Bedrohung der Stabilität der Haltung, wie sie bei Rückenschmerzpatienten zu finden ist, signifikante Änderungen der durchschnittlichen Muskelaktivität hervorruft (Carpenter et al. 2001). Demzufolge spielen sowohl die Mobilität als auch der Quotient von BM/RM eine wesentliche Rolle bei der Kontrolle von Ausgleichsbewegungen.

In verschiedenen Studien wurde eine schlechte Balance bei Rückenschmerz-Patienten festgestellt (Popa et al. 2007, Mok et al. 2004). Diese wird auf eine Veränderung des

Feedbacks der lumbalen Wirbelsäule und der distalen Extremitäten (Gill, Callaghan 1998, Brumagne et al. 2000; Mazzocchio et al. 2001) sowie auf neuromuskuläre Dysfunktionen im Stehen (Gill, Callaghan 1998) zurückgeführt. Die Gründe hierfür liegen in der verminderten Propriozeption, Defiziten in der Reaktionszeit und verminderter posturaler Stabilität und Kontrolle (Liau et al. 1999; Luoto et al. 1996 und 1998) der Patienten.

Alle diese genannten Faktoren haben einen Einfluss auf die Ergebnisse der Balance-X-Sensor-Tests, nicht jedoch auf den Rückentest, was eine Erklärung für die nicht vorhandenen Korrelationen zwischen dem Rückentest und den BXS-Parametern 'Leistung' und 'Spurlänge' sein könnte.

Allerdings lässt sich ein Zusammenhang zwischen der Verbesserung der Kraft der Rückenmuskulatur und der Muskelleistungsfrequenz im BXS vermuten. Wie bereits im Kapitel 4.3 erklärt, lässt sich die Kraftzunahme im Rückentest nicht durch einen Zuwachs der Rückenmuskulatur erklären. Vielmehr wird vermutet, dass sie auf eine verbesserte intra- sowie intermuskuläre Abstimmung zurückzuführen ist (Reuss-Borst et al. 2008). Auch Wilke und Froböse konnten zeigen, dass eine Aufhebung des Kraftdefizites und eine Verbesserung der Beweglichkeit regelmäßig nicht ausreichen, um alltägliche Bewegungsabläufe wieder herzustellen. Neben Kraft, Beweglichkeit und Ausdauer sind koordinative Fähigkeiten entscheidend (Wilke und Froböse 1998). Sie sehen zudem Traumata, Degeneration oder Immobilisation (wie sie häufig bei Rückenschmerzpatienten zur Schmerzvermeidung beobachtet wird) als ursächlich für Veränderungen am Bewegungsapparat mit der Folge einer Wahrnehmungsstörung im Sinne von Hypo- oder Hypersensibilität sowie für Schädigungen der Propriozeption. Aufgrund dieser Schädigungen des sensomotorischen Apparates kommt es zur koordinativen Dysfunktionen, welche sowohl als pathogenetischer Faktor als auch als Folge chronischer Rückenschmerzen gesehen werden können.

In einer Studie betont Rasev die Rolle der gestörten Koordination durch propriozeptive Beeinträchtigung (Rasev 1999). Er beobachtete vermehrte Oszillationen und Schwankungen der Gelenke oder Körperregionen, die während der Haltung oder Bewegung stabil sein bzw. fließend bewegt werden sollten. Die ursächliche Dysfunktion der Steuerung der Muskelspannung führt dabei zu einem schlechten Zusammenspiel der einzelnen Körpersegmente der unteren Extremität und des Rumpfes. Als Folgen dieser Funktionspathologien sind Muskelhyper- oder -hypotonien sowie Bewegungseinschränkungen zu sehen. Diese Veränderungen der Reizbarkeit der Muskulatur führen zu muskulären Dysbalancen, welche eine neue Quelle erhöhter Nozizeption sind. Hierbei können schwerste schmerzhafteste Störungen der Motorik auftreten, welche oft völlig ohne diagnostizierbare organische Veränderungen existieren – wie sie häufig beim Rückenschmerz beobachtet werden.

Der Parameter *Muskelleistungsfrequenz* soll Aussagen über den Muskelfunktionszustand und die muskuläre Reaktionszeit erlauben. Es wurde erwartet, dass sich eine Verbesserung der intermuskulären Koordination in einer Zunahme der Muskelleistungsfrequenz widerspiegelt. Diese Verbesserung kann laut Reuss-Borst et al. (2008) ebenfalls anhand einer Zunahme der Kraft der Rückenmuskulatur belegt werden. Aus diesem Grund wurde ein Zusammenhang zwischen diesen beiden Parametern erwartet.

Bei der statistischen Auswertung der Testergebnisse können jedoch weder signifikante Veränderungen der Muskelleistungsfrequenz der verschiedenen BXS-Tests im Verlauf der Rehabilitation noch ein signifikanter Zusammenhang zwischen der MLF und den Ergebnissen des RT nachgewiesen werden.

Ein Grund hierfür kann sein, dass die Dauer einer Rehabilitation von durchschnittlich 2 Wochen nicht ausreicht, um eine Verbesserung der muskulären Koordination zu erreichen, welche ausreicht, um sich signifikant in der Muskelleistungsfrequenz widerzuspiegeln.

4.5 Zusammenhang der BXS-Ergebnisse mit dem FFbH-R

Mittels der Untersuchung des Zusammenhangs der BXS-Ergebnisse („objektive“ Messung) mit dem Funktionsfragenbogen Hannover-Rücken (subjektive Messung) wurde geprüft, ob sich eine subjektiv empfundene Verbesserung bzw. Verschlechterung der Funktionskapazität im Alltag (FFbH-R) auch in den BXS-Ergebnissen widerspiegelt. Die Analyse der Ergebnisse des FFbH-R ergab für die Gesamtgruppe der Patienten eine durchschnittliche Verbesserung der Funktionskapazität um 4,16%. Die Bewertung der Funktionskapazitäten zum Zeitpunkt t_1 (73,46%) und t_2 (77,85%) zeigt allerdings keinen statistisch signifikanten Unterschied. Beide Mittelwert-Ergebnisse stehen für eine „mäßige Einschränkung im Alltag“ (vgl. Kap. 2.8).

Wie auch in der allgemeinen Auswertung zeigt sich bei den komprimierten Datensätzen ebenfalls eine Zunahme der Funktionskapazität von 72,63% auf 78,1%. Hier konnte ein signifikanter Unterschied zwischen t_1 und t_2 im Verlauf gesichert werden ($F=12,99$; $p<0,001$). Die Ergebnisse fallen sehr heterogen aus und es gibt sowohl Patienten mit sehr guten Steigerungen in der subjektiven Funktionskapazität wie auch andere, die sich kaum verändern und solchen, bei denen es sogar zu Verschlechterungen kommt. Insgesamt kam es bei 21,4% dieser Patientengruppe zu einer Steigerung der Funktionskapazität von 16–50 Prozentpunkten. 26,8% der Patienten wiesen keine Änderung auf und bei 17,9% sank die Funktionskapazität. Trotz der signifikanten Verbesserung der Funktionskapazität, blieb im Durchschnitt für die Gruppe aller betrachteten Patienten das Gefühl der „mäßigen Einschränkung im Alltag“ bestehen.

Dieses eher moderate Ergebnis könnte auf zwei Gründe zurückzuführen sein. Zum einen könnte die – für sicherlich viele Patienten – ungewohnte sportliche Betätigung während des Aufenthaltes in der Rehaklinik zu muskulären Ermüdungserscheinungen, wie z.B. Schwäche und ungewohnte Befindlichkeiten des Muskelsystems - sogenannter „Muskelkater“ - geführt haben. Dies kann vorübergehend den Eindruck erwecken, weniger leistungsfähig zu sein. Hierbei muss beachtet werden, dass das Ergebnis einer Fragebogenuntersuchung immer nur eine Momentaufnahme darstellt (Pfungsten und Nilges 2011). Die Ergebnisse des FFbH-R sollten sich auf einen Zeitraum von einer Woche beziehen. In dieser Zeit könnten die oben genannten Faktoren das Gefühl einer verminderten körperlichen Leistungsfähigkeit vermitteln. Zum anderen könnte ein weiterer Grund in der Subjektivität dieses Assessmentinstruments liegen. Wie anhand des psychologisch-soziologischen Konstruktes von Bullinger (1981) zu erkennen ist (vgl. Kap. 1.4.2), wird die Selbstbeurteilung der Beeinträchtigung des Befragten durch vielfältige psychologische Faktoren beeinflusst. So können Einflussfaktoren wie z.B. subjektiver Krankheitsgewinn oder ein noch geheimes Rentenbegehren nicht ausgeschlossen werden. Auch die Unzufriedenheit am Arbeitsplatz spielt bei vielen Rückenschmerzpatienten eine wichtige Rolle (Papageorgiou et al. 1997). Diese kann dazu führen, dass die Probanden keinen starken Antrieb haben, wieder an den Arbeitsplatz zurück zu kehren und sich entsprechend schlecht einschätzen.

Der Unterschied zwischen den Ergebnissen von subjektiven und objektiven Testverfahren wurde bereits in anderen Studien thematisiert. So konnte festgestellt werden, dass der vom Patienten angegebene Schmerz häufig nur gering mit den mit objektiven Verfahren gemessenen Funktionseinschränkungen und Behinderungen korreliert (Hazard 2007, Deyo, Weinstein 2001, Hägg et al. 2001, Lee et al. 2001). Auch Lüder et al. (2006), Hildebrandt (2011) und Pfingsten und Nilges (2011) postulieren, dass die „funktionale Kompetenz“ nur schwer mit einem subjektiven Assessmentinstrument zu erfassen ist. Dennoch ist eben diese subjektive Einschätzung der körperlichen Funktionsfähigkeit und der Schmerzen von erheblicher prognostischer Bedeutung für die Behandlung des chronischen Rückenschmerzes. Da die Aktivitätskapazität sowohl vom physischen Konditionszustand als auch von psychischen Faktoren wie Motivation, Angst und emotionalem Empfinden abhängig ist (Lüder et al. 2006), hat die Suche nach einer ökonomischen, reliablen und validen Kombination aus Fragebogenverfahren und objektiven Funktionstest bisher zu keinem guten Ergebnis geführt. Auch die Ergebnisse dieser Studie deuten darauf hin, dass ein Zusammenhang zwischen einem objektiven Verfahren (BXS) und den subjektiven Einschätzungen der Patienten nicht unbedingt bestehen muss. Wenn man einmal von den Problemen mit der Objektivität und Standardisierung des BXS-Testverfahrens absieht, so scheint es sich um ein generelles Problem zweier unterschiedlicher Datenebenen zu handeln. Es macht offensichtlich Sinn, beides (sowohl objektive Messung als auch subjektive

Beurteilung) zu erfassen und möglicherweise zusätzlich die Diskrepanz zwischen beiden Ebenen in die Interpretation einzubeziehen. Voraussetzung für Verfahren beider Ebenen sind eine objektive standardisierte Messung, die Sicherung der Reliabilität (Messgenauigkeit) und der Validität in Bezug auf das, was der Test wirklich zu messen beabsichtigt. Das BXS-System wird dieser Anforderung bisher noch nicht gerecht. Um das Verfahren für diese wichtige Aufgabe in Zukunft nutzen zu können, sind weitere Untersuchungen erforderlich, in denen die Standardisierung der Messdurchführung und die Beschränkung auf reliable zu erfassende Parameter einen wichtigen Stellenwert einnehmen könnte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass aufgrund der unterschiedlichen Ansätze von BXS (eher objektiv) und FFbH-R (subjektiv) ein Vergleich der Ergebnisse dieser beiden Assessmentinstrumente keine gesicherten Zusammenhänge darstellt. Dies spiegelt sich auch in einer fehlenden Korrelation zwischen beiden Assessmentmethoden wider.

5 Zusammenfassung

Von einem „Erfolg“ in der Rehabilitation wird laut Raspe dann gesprochen, wenn der Patient seine Ziele in der Reha als erreicht sieht (Raspe 1998). Der Erfolg einer Rehabilitation beschränkt sich jedoch nicht nur auf eine Verbesserung der Rückenschmerzproblematik. Vielmehr sind für die Beurteilung der Rehabilitation verschiedene Outcome-Dimensionen relevant. Aus Sicht der Patienten können z. B. die Schmerzen reduziert, jedoch keine Verbesserung der Funktionskapazität eingetreten sein oder sie bemerken eine Verbesserung des psychischen Befindens, jedoch keine Schmerzlinderung (Wäntig 2009). Als Einflussfaktoren für die Wiedererlangung der Arbeitsfähigkeit bei Rückenschmerzpatienten nach einer Rehabilitation sehen Hildebrandt et al. (1997) die Dauer der Arbeitsunfähigkeit, die Selbsteinschätzung über die Rückkehr an den Arbeitsplatz, einen gestellten Rentenantrag und die Abnahme der Beschwerden nach der Reha. Zu ähnlichen Erkenntnissen kommen auch Du Bois und Donceel (2008), in dem sie feststellen, dass die Wahrscheinlichkeit der Rückkehr an den Arbeitsplatz nach dreimonatiger Arbeitsunfähigkeit lediglich bei 20% liegt. Eklund vertritt die Meinung, dass die Kombination aus psychischem Befinden und soziodemographischem Hintergrund ausschlaggebender für den Erfolg der Patienten ist als medizinische Befunde (Eklund 1992). Nicht prädiktiv sind der medizinische Hintergrund, die medizinische Diagnose oder die körperliche Einschränkung. Auch körperliche Variablen wie Leistungsfähigkeit, Mobilität und Kraft weisen nur begrenzt prognostischen Wert auf (Hildebrandt et al. 1997). Als prognostisch günstig werden die Überzeugung, seine Beschwerden selbst bekämpfen zu können, sowie ein höherer Bildungsstand und eine gehobene berufliche Stellung gesehen (Härkäpää et al. 1991, Spinhoven et al. 1989).

Meyer et al. konnten in einer Analyse der Qualitätssicherungsdaten der Deutschen Rentenversicherung aus den Jahren 2003 und 2004 zeigen, dass 74,2% der Befragten die Rehamassnahmen insgesamt positiv bewerteten. Die Kreuzschmerzen hatten sich bei 46,1% der Patienten verbessert (Meyer et al. 2009). Die Nachhaltigkeit der Behandlung chronischer Rückenschmerzpatienten in stationären medizinischen Rehabilitationskliniken ist jedoch nach wie vor unbefriedigend (Hüppe und Raspe 2005).

Aufgrund der multiplen Einflussfaktoren auf einen Rehabilitationserfolg ist es außerordentlich schwierig Erfolge zu operationalisieren. Offensichtlich bildet sich das Ergebnis sowohl in objektiven körperlichen Parametern wie aber auch im subjektiven Erleben und in Befindlichkeiten ab. Die Suche nach einer ökonomischen, reliablen und validen Kombination von Fragebogenverfahren und objektiven Funktionstests ist diesbezüglich bisher nicht gelungen.

In der vorliegenden Studie sollte geprüft werden, ob sich das für Rückenschmerzpatienten bisher kaum untersuchte Verfahren der Posturographie zur Quantifizierung eines Rehabilitationserfolges eignet und sich Therapieeffekte im Vergleich zu anderen Assessmentinstrumenten abbilden lassen. Hierzu wurden drei Fragen gestellt, welche im Folgenden beantwortet werden sollen:

1. Eignet sich der Balance-X-Sensor Pro als Assessmentinstrument im Alltag einer Rehabilitationsklinik?
2. Lassen sich damit z. B. muskuläre Defizite objektivieren?
3. Eignet sich das Verfahren bzw. das zu entwickelnde und zu überprüfende Protokoll zur Darstellung von Rehabilitationserfolgen im Vergleich zu anderen Assessmentmethoden?

Die Posturographie stellt eine schnelle, objektive, minimal invasive und leicht durchzuführende Assessmentmethode dar (Forsman et al. 2007).

Aus unseren Ergebnissen können wir zusammenfassend folgendes festhalten:

Vor allem die Schnelligkeit und die leichte Durchführbarkeit führen dazu, dass sich Testuntersuchungen mit dem Balance-X-Sensor gut in den Rehabilitationsalltag integrieren lassen. Als geeignet für Patienten mit chronischen Rückenschmerzen wurden die Tests *Einbein-Stand*, das *Aufstehen von einem Stuhl mit einem Bein* sowie *Kniebeuge* befunden.

Mittels des BXS lassen sich Aussagen zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes und der dazu benötigten Leistung treffen. Darüber hinaus kann der Muskelfunktionszustand anhand des Parameters 'Muskelleistungsfrequenz' bestimmt werden. Aufgrund der teilweise extremen Spannweiten der Ergebnisse der Parameter 'Leistung' und 'Spurlänge' mussten diese bei der intensivierten Auswertung der komprimierten Datensätze ausgeschlossen werden. Somit beziehen sich die statistisch relevanten Aussagen dieser Studie nur auf den Parameter 'Muskelleistungsfrequenz'. Zur ergänzenden Abklärung, ob die erstgenannten zwei Parameter statistisch relevante Zusammenhänge bei Rückenschmerzpatienten aufweisen, sollten die Tests wiederholt und nach dem Prinzip „Best of three“ ausgewertet werden (vgl. Kap. 4.2). Damit lassen sich Ausreißer-Werte minimieren und extreme Spannweiten möglichst vermeiden.

Es muss bedacht werden, dass das Ergebnis der BXS-Parameter nicht durch einzelne Muskelgruppen zustande kommt (Norre und Forrez 1986), sondern immer durch das Zusammenspiel vieler Muskeln, Gelenke und neuronaler Prozesse. Diese Verknüpfung ist die Grundlage unseres stabilen Standes (Kollmitzer et al. 2000; Popa et al. 2007). Daher ist der BXS nicht dazu geeignet, Aussagen über einzelne Muskelgruppen zu treffen, wie es z.B. beim Rückentest der Fall ist.

Die Ergebnisse des Rückentests erlauben Aussagen bezüglich des Funktionszustandes der Rückenmuskulatur. Da auch die Muskelleistungsfrequenz als Parameter des BXS-Tests die Reaktionsgeschwindigkeit und damit den Funktionszustand der Muskulatur abzubilden vermag, wurde ein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen des Rückentests und dem genannten BXS-Parameter erwartet. Dieser Zusammenhang konnte nicht bestätigt werden. Es wurden keine statistisch signifikanten Korrelationen nachgewiesen. Auch Granert gelang es in seiner Studie nicht, eine Verbindung zwischen einer Reduktion von Rückenschmerzen und einer posturographisch nachgewiesenen Verbesserung der Standstabilität nachzuweisen (Granert 2005). Wie bereits von Pagel 2000 erwähnt, muss die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, dass posturographische Ergebnisse eigenständig zu interpretieren sind. Wie bereits mehrfach erwähnt, können Rückenschmerzen nicht mehr nur auf muskuläre Defizite zurückgeführt werden. Psychische oder soziale Faktoren haben beispielsweise nur wenig Einfluss auf die Ergebnisse des Rückentests, können jedoch die Ergebnisse des BXS eher beeinflussen. Auch in Bezug auf die Ergebnisse des Funktionsfragebogens Hannover-Rücken konnten keine statistisch relevanten Zusammenhänge mit den Ergebnissen des BXS-Tests nachgewiesen werden. Wie in Kapitel 4.5 beschrieben, wurden bereits von verschiedensten Autoren festgestellt, dass die „funktionale Kompetenz“ nur schwer mit einem subjektiven Assessmentinstrument wie z. B. einem Fragebogen zu erfassen ist (Hildebrandt 2011, Hazard 2007, Lüder et al. 2006, Deyo, Weinstein 2001, Hägg et al. 2001, Lee et al. 2001). Da sich auch keine Korrelation zwischen der Funktionskapazität und den Ergebnissen des Rückentests nachweisen ließ, werden die Ergebnisse oben genannter Autoren auch in dieser Studie bestätigt.

Bisher wird die Posturographie vor allem zur Detektion und Verlaufskontrolle von Gleichgewichtsstörungen verschiedener Genese eingesetzt. Hierzu gehören u. a. peripher-vestibuläre Erkrankungen (Alund et al. 1991, Norre und Forrez 1996), cerebelläre Symptome z. B. bei chronischem Alkoholabusus (Diener und Dichgans 1988) oder altersabhängige Standstabilität (Norre 1987, Ojala et al. 1989, Pyykkö et al. 1991).

In dieser Studie wurde besonderes Augenmerk auf Patienten mit chronischen Rückenschmerzen gelegt. Die Ursache dieses Krankheitsbildes ist multifaktoriell bedingt. So führen z.B. Fehlhaltungen, Unzufriedenheit am Arbeitsplatz, anhaltender Distress und Depression zur Entstehung und Chronifizierung von Rückenschmerzen (Hasenbring et al. 2001, Linton 2000). Aufgrund dieser multifaktoriellen Genese wird die Therapie interdisziplinär durchgeführt. Ein solcher interdisziplinärer Therapieansatz kann nicht mittels eines Tests evaluiert werden, der ausschließlich auf ein Element (z.B. nur die Rückenmuskulatur) der Therapie ausgerichtet ist. Dennoch besteht ein Bedarf nach Objektivierung des Behandlungserfolges in Bezug auf die körperlichen Parameter (Hüppe und Raspe 2003). Das BXS-System erschien dafür ein geeignetes Instrument zu sein, weil

es vor allem auch koordinative Fähigkeiten erfassen kann, die bei anderen Funktionstests eher im Hintergrund stehen.

Da es sich bei dem Balance-X-Sensor um ein relativ neues Gerät handelt, gibt es noch keine festgelegten Testbatterien für verschiedene Krankheitsbilder. Für die bei dieser Studie im Mittelpunkt stehenden chronischen Rückenschmerzen wurde daher eine Testbatterie entwickelt. Diese besteht aus den fünf Tests *Romberg-Stand**, *Einbein-Stand rechts/links**, *Kniebeuge*, *Einbeinig rechts/links* und *Einspringen rechts/links*, welche sich in statische (*) und dynamische Tests unterteilen. Die Tests *Romberg* und *Kniebeuge* ließen sich problemlos durchführen. Der Test *Einspringen rechts/links* stellte allerdings von vorn herein eine Herausforderung dar. Aufgrund vielfältiger Fehlerquellen (vgl. Kap. 4.2) sollte der Test *Einspringen rechts/links* aus der Testbatterie entfernt werden. Bei den Tests *Einbein-Stand rechts/links* und *Einbeinig rechts/links* kam es aufgrund von Knieschmerzen häufig zu Problemen bei der Durchführung. Um diese Tests optimal auswerten zu können, sollten die Ausschlusskriterien auf „Knieprobleme ohne Gonarthrose“ erweitert werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich allenfalls Teile der neu entwickelten Testbatterie zur Evaluation eines Rehabilitationserfolges eignen. Für Patienten mit chronischen Rückenschmerzen werden die Tests *Einbein-Stand rechts/links*, *Einbeinig rechts/links* und *Kniebeuge* vorgeschlagen. Diese bilden die Veränderung der Stabilisation des Körperschwerpunktes auf einem Untergrund ab. Allerdings konnten bei der Auswertung der Ergebnisse einige Probleme detektiert werden, welche sich in großen Spannweiten einiger BXS-Parameter zeigten. Hier gibt es noch deutlichen Nachbesserungsbedarf was die Testdurchführung und –auswertung betrifft. Bevor der BXS als Assessmentinstrument in Rehabilitationskliniken aufgenommen wird, bedarf es noch weiterer Studien zur Evaluation optimierter Testbatterien sowie der Erstellung von Referenzdaten. Mit Hilfe dieser Ergebnisse ist es denkbar, dass die Posturographie in Zukunft als ergänzendes Assessmentinstrument einen wertvollen Beitrag zur Evaluation und Weiterentwicklung der Rehabilitation des chronisch nicht-spezifischen Rückenschmerzes leisten kann.

6 Anhang

6.1 Patientenaufklärung

Studie zur Erarbeitung eines Testkataloges mittels Balance-X-Sensor Pro zur objektiven Darstellung des Rehabilitationserfolges bei Patienten mit Gonarthrose, chronischem Rückenschmerz und Tinnitus aurium.

Liebe Patienten, liebe Patientinnen,

mit diesem Schreiben möchten wir Sie über die oben genannte Studie informieren, welche wir zur Zeit an unserem Haus bei Patienten mit Gonarthrose, chronischem Rückenschmerz und Tinnitus aurium durchführen.

Was ist Ziel der Studie?

Viele Menschen leiden unter Knieschmerzen auf Grund von Gelenkverschleiß, chronischen Rückenschmerzen oder Tinnitus. Aus diesem Grund gehören sie zum festen Patientengut vieler Rehabilitationskliniken. Bislang können die Erfolge dieser Maßnahmen fast ausschließlich subjektiv beurteilt werden. Um die Notwendigkeit eines Rehabilitationsaufenthaltes weiterhin hervorzuheben, ist es dringend erforderlich objektive Messinstrumente zu entwickeln.

Wir möchten mit Hilfe eines neuen Gerätes („Balance-X-Sensor“) Tests anfertigen, welche die erzielten Erfolge sachlich darstellen und dadurch untermauern können.

Was ist der Balance-X-Sensor?

Der Balance-X-Sensor ist ein Messgerät zur Erfassung von Funktionen und Störungen des Gleichgewichtsystems und zur Darstellung des Leistungsvermögens und der Kraft der Muskulatur von Armen und Beinen sowie des Rumpfes. Das Gerät ist eine spezielle Plattform auf welcher man Bewegungen und Kräfte des stehenden Probanden über einen Zeitverlauf erfassen kann.

Was würde die Teilnahme an der Studie für Sie bedeuten?

Bei einer Teilnahme an der Studie bedeutet dies für Sie, zu Beginn und am Ende Ihres Aufenthaltes in der Rehaklinik „Am Kurpark“ angeleitete Tests auf dem Balance-X-Sensor (z.B. Kniebeugen) durchzuführen.

Außerdem würden wir Sie bitten, verschiedene Fragebögen mit Angaben zu Ihrer Erkrankung und Ihrem Befinden auszufüllen. Hinzu kommt bei Rückenschmerzpatienten die Teilnahme an einem Rückentest.

Was passiert, falls Sie nicht an der Studie teilnehmen möchten?

In diesem Fall findet Ihre Behandlung nach dem herkömmlichen Muster statt. Ihnen entstehen keinerlei Nachteile, falls Sie eine Teilnahme an der Studie ablehnen.

Was passiert mit den gesammelten Daten?

Ihre Daten werden von der zuständigen Doktorandin gesammelt und anonym (ohne Nennung Ihres Namens) mit dem Computer ausgewertet. Dies geschieht gemäß der Grundsätze des Datenschutzes. Die Daten sind weiteren Personen nicht zugänglich.

Falls Sie mit der Teilnahme an der Studie einverstanden sind, möchten wir Sie bitten, auf der beiliegenden Einverständniserklärung das zutreffende Feld anzukreuzen und die Erklärung eigenhändig zu unterschreiben.

Wir möchten Sie abschließend noch darauf aufmerksam machen, dass Sie jederzeit das Recht haben, Ihr Einverständnis zu widerrufen, ohne dass Ihnen hierdurch irgendwelche Nachteile entstehen.

Wir wünschen Ihnen einen angenehmen, erholsamen und erfolgreichen Aufenthalt in unserem Haus, von dem Sie hoffentlich lange profitieren werden.

Ihr Klinik-Team

6.2 Patienteneinverständniserklärung

Studie zur Erarbeitung eines Testkataloges mittels Balance-X-Sensor Pro zur objektiven Darstellung des Rehabilitationserfolges bei Patienten mit Gonarthrose, chronischem Rückenschmerz und Tinnitus aurium.

Einverständniserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich ausreichend über Ziel und Vorgehen der Studie aufgeklärt wurde. Ich habe alles verstanden und erkläre,

- Dass ich einverstanden bin, an der Studie teilzunehmen. **Außerdem willige ich ein, dass meine Daten im Rahmen der wissenschaftlichen Studie erfasst und ausgewertet werden.**

Bad Kissingen, den.....

.....

Unterschrift

6.3 Tests mittels Balance-X-Sensor Pro für Patienten mit Chronischen Rückenschmerzen

1. Romberg

- Füße parallel an weißer Linie, bequem stehen, Knie leicht gebeugt („Bärenstand“)
- Hände locker an der Seite hängen
- Augen geschlossen halten
- Dauer: 10 s
- Durchführung im Modus „Romberg, zu“

2. 1-Bein-Stand

- Knie auf Gürtelhöhe heben (ca. 90°)
- Hände locker an der Seite hängen lassen
- Standbein leicht gebeugt
- Gerader Rücken
- Augen in Richtung Wand (weg vom Gerät)
- Augen offen lassen
- Dauer: 10 s
- Durchführung mit beiden Beinen im Modus „Einbein, rechts/links offen“

3. Kniebeuge

- „Wie beim Heben einer Kiste“
- Gerader Rücken
- Nur so weit nach unten, wie Fersen am Boden bleiben können
- Dauer: 10 s -> dabei so schnell wie möglich, so viele Beugen wie möglich schaffen
- Durchführung im Modus „Kniebeugen“

4. Mit einem Bein vom Stuhl aufstehen

- Hocker auf Gerät (weiche Seite nach hinten)
- Gerade auf den Hocker setzen (Blick zur Wand -> weg vom Gerät)
- Unbenutztes Bein nicht aufstellen oder einhaken (am besten nach vorne halten)
- Mit geradem Rücken aufstehen (möglichst bis zur völligen Streckung des Standbeines) und wieder setzen (dabei nach Möglichkeit nicht auf Hocker „fallen“ lassen)
- Anzahl: 20x
- Max. Zeit: 40 s
- Falls die 20x früher erreicht sind, Messung mittels ESC-Taste stoppen
- Durchführung mit beiden Beinen im Modus „Einbeinig li/re 20x“

5. Einspringen

- Patient steht vor dem Gerät
- Untersucher zählt von 3 auf 1 rückwärts
- Bei 1 springt der Patient auf den Sensor, bleibt auf 1 Bein stehen ->gleichzeitig startet der Untersucher die Messung (der Absprung kann mit einem oder beiden Beinen erfolgen)
- Das nicht benutzte Bein darf nicht eingehakt werden
- Dauer: max. 5 s
- Falls der Patient sich schnell stabilisiert und in der Kraft-Zeitreihe mind. 2 Sekunden kein Wackeln mehr registriert wird, wird die Messung mittels ESC-Taste gestoppt
- Durchführung mit beiden Beinen im Modus „Einspringen auf 1“

6.4 Rückentest

Reha-Klinik "Am Kurpark"
Kurhausstrasse 9
97688 Bad Kissingen

23.09.2008

ANALYSEDATEN ZUR ERHEBUNG DES FUNKTIONSZUSTANDES DER WIRBELSÄULE

Kundennummer:

Name:

Geburtsdatum:

Vorname:

Referenz:

Untersuchungsdatum:

Grösse:

Gewicht:

Leistungsfähigkeit gut

Nackenbeschwerden

Wohlbefinden gut

Rückenbeschwerden

Nacken

Rücken

Schmerzepfindung / Skala
Schmerzbereichunregelmäßig 7
7

			<i>Sollwert</i>	<i>Istwert</i>	<i>Bewertung in %</i>
<i>Beugung/Streckung</i>	<i>HWS</i>	<i>Mobilität</i>	125,00	0,00	0,00%
<i>Seitwärtsneigung</i>			79,00	0,00	0,00%
<i>Drehnung</i>			148,00	0,00	0,00%
<i>Beugung/Streckung</i>	<i>LWS / BWS</i>		67,00	83,00	123,88%
<i>Seitwärtsneigung</i>			60,00	87,00	145,00%
<i>Drehnung</i>			90,00	86,00	95,56%
<i>Nackermuskulatur</i>	<i>HWS</i>	<i>Kraft</i>	8,80	0,00	0,00%
<i>Vordere Halsmuskulatur</i>			3,00	0,00	0,00%
<i>Seitliche Halsmuskulatur Rechts</i>			5,90	0,00	0,00%
<i>Seitliche Halsmuskulatur Links</i>			5,90	0,00	0,00%
<i>Rückenmuskulatur</i>	<i>LWS / BWS</i>		5,00	5,06	101,24%
<i>Vordere Bauchmuskulatur</i>			3,50	3,77	107,64%
<i>Seitliche Bauchmuskulatur Rechts</i>			3,20	3,07	96,07%
<i>Seitliche Bauchmuskulatur Links</i>			3,20	3,21	100,40%
<i>Rotationsmuskulatur Rechts</i>			2,60	1,32	50,67%
<i>Rotationsmuskulatur Links</i>			2,40	1,23	51,04%
<i>Hals-/Nackermuskulatur</i>	<i>HWS</i>	<i>Kraftverhältnisse</i>	0,32	0,00	0,00%
<i>Seitliche Halsmuskulatur Rechts/Links</i>			0,99	0,00	0,00%
<i>Bauch-/Rückenmuskulatur</i>	<i>LWS / BWS</i>		0,74	0,74	99,42%
<i>Seitliche Bauchmuskulatur Rechts/Links</i>			1,03	0,96	92,90%
<i>Rotationsmuskulatur Rechts/Links</i>			1,28	1,08	84,02%
<i>Ausdauer</i>			49,40	0,00	0,00%

Reha-Klinik "Am Kurpark"
 Karhausstrasse 9
 97688 Bad Kissingen

23.09.2008

ANALYSEDATEN ZUR ERHEBUNG DES FUNKTIONSZUSTANDES DER WIRBELSÄULE

Kundennummer:

Name:

Geburtsdatum:

Vorname:

Referenz:

Untersuchungsdatum:

Grösse:

Gewicht:

Leistungsfähigkeit gut

Nackenbeschwerden

Wohlbefinden gut

Rückenbeschwerden

Nacken

Rücken

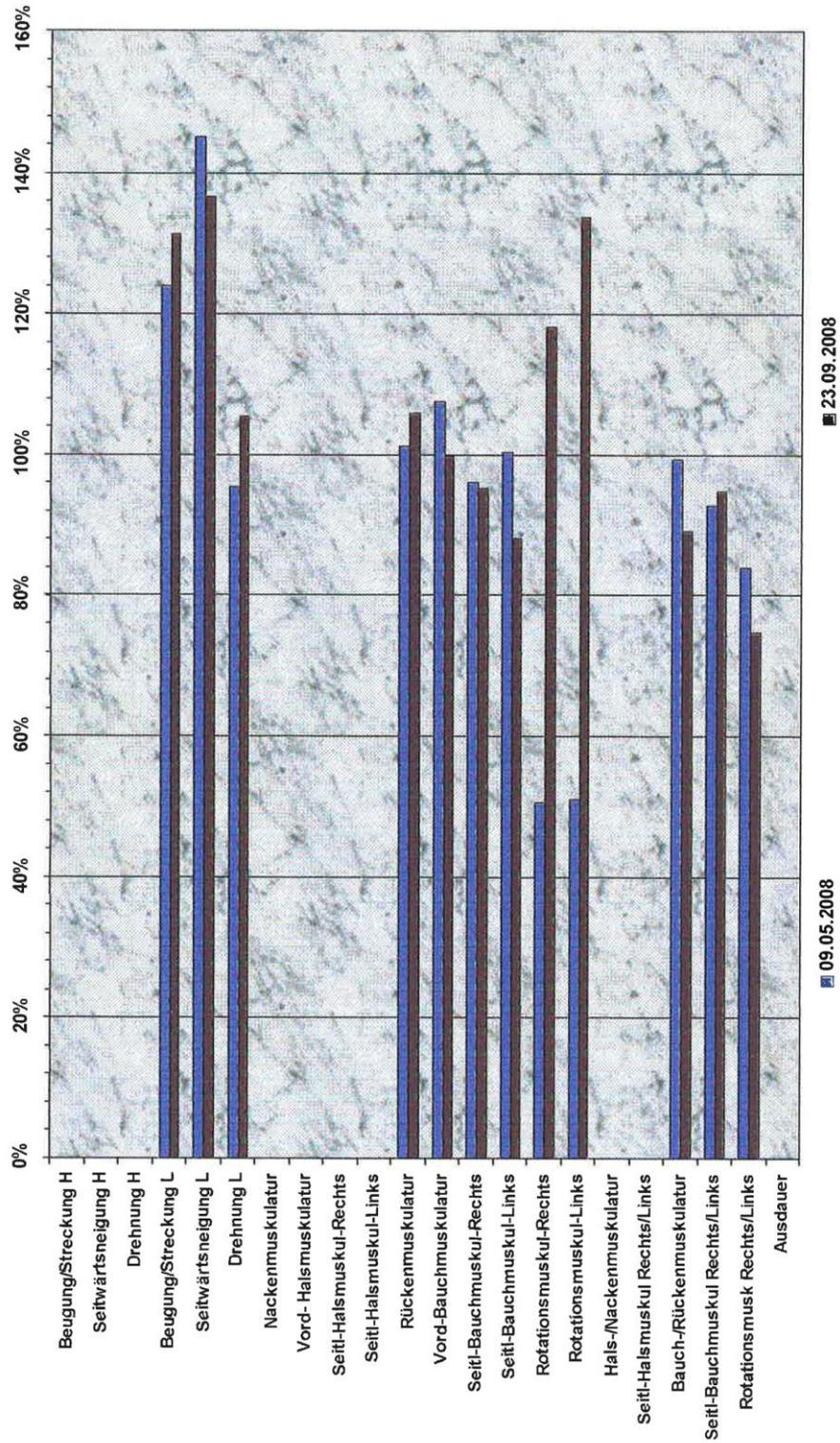
Schmerzepfindung / Skala
 Schmerzbereichunregelmäßig 6
 7

			<i>Sollwert</i>	<i>Istwert</i>	<i>Bewertung in %</i>
<i>Beugung/Streckung</i>	<i>HWS</i>	<i>Mobilität</i>	125,00	0,00	0,00%
<i>Seitwärtsneigung</i>			79,00	0,00	0,00%
<i>Drehnung</i>			148,00	0,00	0,00%
<i>Beugung/Streckung</i>	<i>LWS / BWS</i>		67,00	88,00	131,34%
<i>Seitwärtsneigung</i>			60,00	82,00	136,67%
<i>Drehnung</i>			90,00	95,00	105,56%
<i>Nackermuskulatur</i>	<i>HWS</i>	<i>Kraft</i>	8,80	0,00	0,00%
<i>Vordere Halsmuskulatur</i>			3,00	0,00	0,00%
<i>Seitliche Halsmuskulatur Rechts</i>			5,90	0,00	0,00%
<i>Seitliche Halsmuskulatur Links</i>			5,90	0,00	0,00%
<i>Rückenmuskulatur</i>	<i>LWS / BWS</i>		5,00	5,29	105,86%
<i>Vordere Bauchmuskulatur</i>			3,50	3,49	99,72%
<i>Seitliche Bauchmuskulatur Rechts</i>			3,20	3,05	95,34%
<i>Seitliche Bauchmuskulatur Links</i>			3,20	2,82	88,12%
<i>Rotationsmuskulatur Rechts</i>			2,60	3,07	118,24%
<i>Rotationsmuskulatur Links</i>			2,40	3,21	133,87%
<i>Hals-/Nackermuskulatur</i>	<i>HWS</i>	<i>Kraftverhältnisse</i>	0,32	0,00	0,00%
<i>Seitliche Halsmuskulatur Rechts/Links</i>			0,99	0,00	0,00%
<i>Bauch-/Rückenmuskulatur</i>	<i>LWS / BWS</i>		0,74	0,66	89,11%
<i>Seitliche Bauchmuskulatur Rechts/Links</i>			1,03	1,08	94,95%
<i>Rotationsmuskulatur Rechts/Links</i>			1,28	0,96	74,75%
<i>Ausdauer</i>			49,40	0,00	0,00%

Reha-Klinik "Am Kurpark"
Kurhausstrasse 9
97688 Bad Kissingen



Biomechanische Funktionsanalyse
der Wirbelsäule
23.09.2008



Ersteller: PTA

23.09.2008 16:39:09

Reha Klinik am Kurpark Mobilitätsanalyse

Datum	Bemerkung/Übung	-50°	-25°	0°	25°	Mobilität
05.09.2008	LWS/BWS-Extension	[Bar chart showing mobility from -50° to 25°]				49°- 0°- 34°
23.09.2008	LWS/BWS-Extension	[Bar chart showing mobility from -50° to 25°]				60°- 0°- 28°
05.09.2008	LWS/BWS-Lateralflexoren rechts	[Bar chart showing mobility from -50° to 25°]				1°- 0°- 44°
23.09.2008	LWS/BWS-Lateralflexoren rechts	[Bar chart showing mobility from -50° to 25°]				0°- 0°- 42°
05.09.2008	LWS/BWS-Lateralflexoren links	[Bar chart showing mobility from -50° to 25°]				43°- 1°- 0°
23.09.2008	LWS/BWS-Lateralflexoren links	[Bar chart showing mobility from -50° to 25°]				40°- 0°- 0°
05.09.2008	LWS/BWS-Rotation rechts	[Bar chart showing mobility from -50° to 25°]				0°- 0°- 41°
23.09.2008	LWS/BWS-Rotation rechts	[Bar chart showing mobility from -50° to 25°]				1°- 0°- 45°
05.09.2008	LWS/BWS-Rotation links	[Bar chart showing mobility from -50° to 25°]				45°- 0°- 0°
23.09.2008	LWS/BWS-Rotation links	[Bar chart showing mobility from -50° to 25°]				50°- 1°- 0°

Reha Klinik am Kurpark Isometrische Messung

Datum	Bemerkung/Übung	Position	Versuc	Dauer	Maximum/Impuls		50Nm	100Nm	200Nm
05.09.2008	LWS/BWS-Extension	0°- 10°	1	5s	219,3Nm 305,4Nms	100%	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
23.09.2008	LWS/BWS-Extension	0°- 10°	1	5s	229Nm 783,1Nms	104%	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
05.09.2008	LWS/BWS-Flexoren	60°- 0°	1	5s	163,1Nm 700,7Nms	74%	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
23.09.2008	LWS/BWS-Flexoren	60°- 0°	2	5s	151Nm 657,9Nms	69%	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
05.09.2008	LWS/BWS-Lateralflexoren rech	0°- 20°	2	5s	132,8Nm 529,4Nms	61%	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
23.09.2008	LWS/BWS-Lateralflexoren rech	0°- 20°	1	5s	132,4Nm 445,2Nms	60%	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
05.09.2008	LWS/BWS-Lateralflexoren links	20°- 0°	2	5s	138,8Nm 497Nms	63%	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
23.09.2008	LWS/BWS-Lateralflexoren links	20°- 0°	1	5s	121,6Nm 403,6Nms	55%	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
05.09.2008	LWS/BWS-Rotation rechts	0°- 30°	2	5s	67,4Nm 213,6Nms	26%	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
23.09.2008	LWS/BWS-Rotation rechts	0°- 30°	1	5s	133Nm 502,4Nms	61%	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
05.09.2008	LWS/BWS-Rotation links	30°- 0°	1	5s	63Nm 189,4Nms	24%	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
23.09.2008	LWS/BWS-Rotation links	30°- 0°	1	5s	139,2Nm 508,1Nms	63%	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]

6.5 FFbH-R

In den folgenden Fragen geht es um Tätigkeiten aus dem täglichen Leben.
Bitte beantworten Sie jede Frage so, wie es für Sie im Moment (wir meinen in Bezug auf die letzten 7 Tage) zutrifft.

Sie haben **drei** Antwortmöglichkeiten:

- | | | |
|-----|---------------------------------|--|
| [1] | Ja | d.h. Sie können die Tätigkeit ohne Schwierigkeiten ausführen. |
| [2] | Ja, aber mit Mühe | d.h. Sie haben dabei Schwierigkeiten, z.B. Schmerzen, es dauert länger als früher, oder Sie müssen sich dabei abstützen. |
| [3] | Nein oder nur mit fremder Hilfe | d.h. Sie können es gar nicht oder nur, wenn eine andere Person Ihnen dabei hilft. |

	Ja	Ja, aber mit Mühe	Nein oder nur mit fremder Hilfe
Können Sie sich strecken, um z.B. ein Buch von einem hohen Schrank oder Regal zu holen ?[1]	[1]	[2]	[3]
Können Sie einen mindestens 10 kg schweren Gegenstand (z.B. vollen Wassereimer oder Koffer) hochheben und 10 Meter weit tragen ? [1]	[1]	[2]	[3]
Können Sie sich von Kopf bis Fuß waschen und abtrocknen ?..... ..[1]	[1]	[2]	[3]
Können Sie sich bücken und einen leichten Gegenstand (z.B. Geldstück oder zerknülltes Papier) vom Fußboden aufheben ? [1]	[1]	[2]	[3]
Können Sie sich über einem Waschbecken die Haare waschen ?.....[1]	[1]	[2]	[3]
Können Sie 1 Stunde auf einem ungepolsterten Stuhl sitzen ?[1]	[1]	[2]	[3]
Können Sie 30 Minuten ohne Unterbrechung stehen (z.B. in einer Warteschlange) ?..... [1]	[1]	[2]	[3]
Können Sie sich im Bett aus der Rückenlage aufsetzen ? [1]	[1]	[2]	[3]
Können Sie Strümpfe an- und ausziehen ? [1]	[1]	[2]	[3]
Können Sie im Sitzen einen kleinen heruntergefallenen Gegenstand (z.B. eine Münze) neben Ihrem Stuhl aufheben ? [1]	[1]	[2]	[3]
Können Sie einen schweren Gegenstand (z.B. einen gefüllten Kasten Mineralwasser) vom Boden auf den Tisch stellen ?..... [1]	[1]	[2]	[3]
Können Sie 100 Meter schnell laufen (nicht gehen), etwa um einen Bus noch zu erreichen ?..... [1]	[1]	[2]	[3]

6.5 Therapiemaßnahmen in der Rehaklinik Am Kurpark

Akupunktur

Krankengymnastik – Einzel (Manuelle Therapie, Schlingentisch...)

Gruppengymnastik

Wassergymnastik – Einzel

Wassergymnastik – Gruppe

Lymphdrainage

Lymphgymnastik

Lymphomat

Massage

Thermotherapie

Elektrotherapie

Medizinische Trainingstherapie

Psychotherapeutische Einzeltherapie

Psychotherapeutische Gruppentherapie

Kneipp

Kardio-Training

Bäder

Koordinatives Training

Standardisierte Rückenschule

Entspannung

A Tab. 3: FFbH-R-Mittelwert und Patientenzahl [N]

Mittelwert	Diff - Funktionskapazität [%]		N
	absolut	[%]	
	4,16	4,16	109

7 Literaturverzeichnis

- AOK-Bundesverband Zahlen und Fakten 2009/2010:** AOK-Bundesverband GbR Berlin 2010.
- Acconero, N., Capozza, M., Rinalduzzi, S., Manfredi, G. W.** (1997): Clinical multisegmental posturography: Age-related changes in stance control. *Z Electroenzephalo and Clin Neurophysiol* 105, 213-219.
- Alund, M., Larsson, S. E., Ledin, T., Odkvist, L., Moller, C.** (1991): Dynamic posturographie in cervical vertigo. *Z Acta Otolaryngol Suppl Stockh* 481, 601-602.
- Andersson, A. I., Christine, C., Smeets, L, Smeets, R.** (2010): Performance tests in people with chronic low back pain responsiveness and minimal clinically important change. *Spine* 35 (26), E1559–E1563.
- Asamoah, V., Mellerowicz, H., Venus, J., Klöckner, C.** (2000): Measuring the surface of the back. Value in diagnosis of spinal diseases. *Orthopäde* 29, 480–489.
- Asfour, S. S., Khalil, T. N., Waly, S. M., Goldberg, M. L., Rosomoff, R. S., Rosomoff, H. L.** (1990): Biofeedback in back muscle strengthening. *Spine* 15, 510–513.
- Aust, G.:** Das sensorische Rezeptorverhalten in Zeit und Raum. Med Diss. Berlin 1995.
- Aust, G.** (1991): Der Einfluss des Lebensalters auf vestibulo-okuläre Reaktionen. *Z Laryngo-Rhino-Otol* 70, 132-137.
- Aust, G.** (1996): Zur Altersabhängigkeit von Interaktionen zwischen Propriozeptivität und Sehen. *Z Laryngo – Rhino – Otol* 75, 379-383.
- Baretto, L., Morasso, P. G., Re, C., Spada, G.** (2002): A new look at posturographic analysis in the clinical context: sway-density versus other parameterization techniques. *Motor Control* 6, 246–270.
- Basmajian, J.:** Muscles alive, their functions revealed by electromyography. Williams and Wilkins, Baltimore 1974.
- Beaulieu, M., Toulotte, C., Gatto, L., Rivard, C. -H, Teasdale, N., Simoneau, M., Allard, P.** (2009): Postural imbalance in non-treated adolescent idiopathic scoliosis at different periods of progression. *Eur Spine J* 18, 38–44.
- Berger, M., Bobbit, R. A., Carter, W. B., Gilson, B. S.** (1981): The sickness impact profile: Development and final revision of an health status instrument. *Medical Care* 19, 787-806.
- Bernard, M.** (2002): Einfluss des muskulären Zustands und körperlichen Trainings auf die Haltung von Erwachsenen - Metaanalyse der vorliegenden Literatur. *Z Physiother* 54, 1070–1087.

- Beurskens, A. J., de Vet, H.C., Koke, A. J.** (1996): Responsiveness of functional status in low back pain: a comparison of different instruments. *Pain* 65, 71-76.
- Biering-Sørensen, F.** (1984): Physical measurements as a risk indicator for low-back trouble over one-year period. *Spine* 9, 106–119.
- Bittmann, F., Badtke, G.** (1994): Bewegungsmuster – primärer Faktor von Fehlentwicklungen des Muskel-Skelett-Systems. *Z Manuelle Medizin* 32 (2), 61-65.
- Broll-Zeitvogel, E., Grifka, J., Bauer, J., Roths, P. H., Degryse, P.** (1999): Medizinische Trainingstherapie bei Lumbalsyndromen. *Z Orthopäde* 28, 932-938.
- Brumagne, S., Cordo, P., Lysens, R., Verschueren, S., Swinnen, S.** (2000): The Role of Paraspinal Muscle Spindles in Lumbosacral Position Sense in Individuals With and Without Low Back Pain. *Spine* 25, 989–994.
- Brumagne, S., Cordo, P., Verschueren, S.** (2004): Proprioceptive weighting changes in persons with low back pain and elderly persons during upright standing. *Neurosci Lett* 366, 63–66.
- Bullinger, M.** (1997): Gesundheitsbezogene Lebensqualität und subjektive Gesundheit. *Psychother Psychosom Med Psychol* 47, 76–91.
- Bullinger, M., Kirchberger, I.**: SF-36 Fragebogen zum Gesundheitszustand. Hogrefe, Göttingen 1998.
- Bundesverband selbstständiger Physiotherapeuten - IFK e.V.; Forum Schmerz im Deutschen Grünen Kreuz e.V.**: 10 Tipps gegen Rückenschmerzen: Ohne Bewegung geht es nicht. Bundesverband selbstständiger Physiotherapeuten - IFK e.V., Bochum 2007.
- Camrath, J. -E.**: Physiotherapie: Technik und Verfahrensweise (3. Auflage). Georg Thieme Verlag Stuttgart 1983.
- Carpenter, M. G., Frank, J. S., Silcher, C. P., Peysar, G. W.** (2001): The influence of postural threat on the control of upright stance. *Exp Brain Res* 138, 210–218.
- Carrick, F. R., Oggero, E., Pagnacco, G., Brock, B., Arian, T.** (2007): Posturographic testing and motor learning predictability in gymnasts. *Disabil Rehabil* 29, 24, 1881–1889.
- DAK-Gesundheitsreport 2010**: DAK Zentrale Hamburg 2010.
- Denner, A.**: Analyse und Training der wirbelsäulestabilisierenden Muskulatur. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1998, 57 - 85.
- Descarreaux, M., Blouin, A., J.-S., Teasdale, N.** (2005): Repositioning accuracy and movement parameters in low back pain subjects and healthy control subjects. *Eur Spine J* 14, 185–191.

- Deutsche Gesellschaft für Rheumatologie e.V.: Chronische Rückenschmerzen - ohne Ursache keine Therapie;** in: Kongress-Presskonferenz des 34. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Rheumatologie gemeinsam mit der 20. Jahrestagung der Assoziation für Orthopädische Rheumatologie 18. bis 21. Oktober 2006, Wiesbaden; Deutsche Gesellschaft für Rheumatologie, Stuttgart 2006.
- DeWitt, G.** (1972): Optic versus vestibular and proprioceptive impulses, measured by posturography. *Agressologie* 13, 79–82.
- Deyo, R. A., Weinstein, J.** (2001): Low back pain. *N Engl J Med*, 344 (5), 363-370.
- Diamantopoulos, I. I., Clifford, E., Birchall, J. P.** (2003): Short-term learning effects of practice during the performance of the tandem Romberg test. *Clin Otolaryngol* 28, 308–313.
- Diener, H. -C, Dichgans J.** (1988): Anwendung und Nutzen der statischen und dynamischen Standmessung (Posturographie). *Fortschr Neurol Psychiatrie* 56, 249–258.
- Di Fabio, R.** (1995): Sensitivity and Specificity of Platform Posturography for Identifying Patients with vestibular dysfunction. *Z Physical Therapy* 75, 290-305.
- Di Fabio, R.** (1996): Meta-Analysis of the Sensitivity and Specificity of Platform Posturographie. *Z Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 122, 150-156.
- Dillmann, U., Nilges, P., Saile, H., Gerbershagen, H. U.** (1994): Behinderungseinschätzung bei chronischen Schmerzpatienten. *Schmerz* 8, 100–110.
- Du Bois, M., Donceel, P.** (2008): A screening questionnaire to predict no return to work within 3 month for low back pain claimants. *European Spine Journal* 17, 359-365.
- Eichler, J. H., Kronfeldt, H. D., Sahm, J.:** Das Neue Physikalische Grundpraktikum. Springer-Verlag, Berlin 2001.
- Eklund, M.** (1992): Chronic pain and vocational rehabilitation: multifactoral analysis of symptoms, signs and psychologic demographics. *Journal of Occupational Rehabilitation* 2, 53-66.
- Exner, V., Keel, P.** (2000): Erfassung der Behinderung bei Patienten mit chronischen Rückenschmerzen. *Schmerz* 14, 392–400.
- Fitzgerald, J. E., Murray, A., Elliott, C., Birchall, J. P.** (1993): Comparison of Balance Assesments by Sway Magnetometry and Force Platforms. *Z Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 119, 41-46.
- Fitzgerald, J. E., Murray, A., Elliott, C., Birchall, J. P.** (1994): Comparison of body sway analysis Techniques. Assesment with subject standing on a stable surface. *Acta Otolaryngol Stockh* 114, 115-119.

- Flor, H., Knost, B., Birbaumer, N.** (2002): The role of operant conditioning in chronic pain: An experimental investigation. *Pain* 95, 111–118.
- Forsman, P., Haeggström, E., Wallin, A., Toppila, E., Pyykkö, I.** (2007): Daytime Changes in Postural Stability and Repeatability of Posturographic Measurements. *J Occup Environ Med* 49 (6), 591–596.
- Fried, R., Arnold, W.** (1987): Der objektivierbare Rombergtest (Posturographie) mit der neuen "Luzerner Meßplatte". *Laryngol Rhinol Otol* 66, 433–436.
- Gatchel, R. J., Mayer, T. G., Hazard, R. G., Rainville, J., Mooney, V.** (1992): Functional restoration. Pitfalls in evaluating efficacy. *Spine* 17, 988–995.
- Geis, S.** (2001): Einführung in die Entwicklungspsychologie. Grin Verlag (ISBN: 978-3-640-02313-4). Online verfügbar unter <http://www.hausarbeiten.de/faecher/vorschau/103937.html>; zuletzt geprüft am 11.10.2009.
- Gerbershagen, H. U., Lindena, G., Korb, J., Kramer, S.** (2002): Gesundheitsbezogene Lebensqualität bei Patienten mit chronischen Schmerzen. *Der Schmerz* 16, 271–284.
- Gill, K. P., Callaghan, M. J.** (1998): The measurement of lumbar proprioception in individuals with and without low back pain. *Spine* 23 (3), 371–377.
- Gillmann, H.:** Physikalische Therapie: Grundlagen und Wirkungsweisen (3. Auflage). Georg Thieme Verlag Stuttgart 1981.
- Götschi, A., Gallmann, M., Huber, F., Lombardi, D., Sajdl, H., Schläper, H., Vils, D.:** Akute Rückenschmerzen: Was Sie dagegen tun können No. 12. MediX Gesundheitsdossier: MediX Ärzteverbund Zürich 2002.
- Granert, J. P.:** Koordinationstrainingstherapie im Spacecurl – posturographische Ergebnisse bei Pflegepersonal mit Rückenschmerzen. Med Diss. Halle 2005.
- Gröber, H. J.** (1999): Medizinische Trainingstherapie auf der dünnen Linie zwischen Steifheit und Haltung. *Z Die Säule* 4, 29-31.
- Growe, U.:** Statistische Posturographie als Erfassungsinstrument der Mobilität im Alter: Eine bevölkerungsbezogene Studie. Med. Diss. Lübeck 1999.
- Hägg, O., Fritzell, P., Romberg, K., Nordwall, A.** (2001): The General Function Score: A usefull tool for measurement of physical disability. *Eur Spine J* 10, 203–10.
- Härkäpää, K., Järvikoski, A., Mellin, G., Hurri, H., Luoma, J.** (1991): Health locus of control beliefs and psychological distress as predictors for treatment outcome in low back pain patients: Results of a 3-month follow up of a controlled intervention study. *Pain* 46, 35-41.
- Häuselmann, H. J., Hedborn, E.** (2002): Von der Pathogenese der Arthrose zu therapeutischen Empfehlungen und Knorpelersatz. *Schweiz Med Forum* 25, 610–615.

- Hagemann, K.:** Indirekte Beinlängenmessung mit dem Optrimetrik-Verfahren. Med Diss. Göttingen 1998.
- Hamaoui, A., Do, M. C., Bouisset, S.** (2004): Postural sway increase in low back pain subjects is not related to reduced spine range of motion. *Neurosci Lett* 357, 135–138.
- Hasenbring, M., Hallner, D., Klasen, B.** (2001): Psychologische Mechanismen im Prozess der Schmerzchronifizierung. Unter- oder überbewertet? *Schmerz* 15, 442–447.
- Hazard, R. G.** (2007): Low-back and neck pain diagnosis and treatment. *J Phys Med Rehabil* 86 (1. Suppl), 59–68.
- Hildebrandt, J., Pfingsten, M., Saur, P., Jansen, J.** (1997): Prediction of success from a multidisciplinary treatment program for chronic low back pain. *Spine* 9, 990-1001.
- Hildebrandt, J., Mense, S.** (2001): Rückenschmerzen - Ein ungelöstes Problem. *Schmerz* 15, 411–412.
- Hildebrandt, J.:** Funktions- und Leistungsdiagnostik. Aus: Rückenschmerz und Lendenwirbelsäule. Interdisziplinäres Praxisbuch entsprechend der Nationalen Versorgungsleitlinie Kreuzschmerz (2. Auflage). Urban & Fischer, München 2011.
- Hodges, P. W., Richardson, C. A.** (1996): Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. A motor control evaluation of transversus abdominis. *Z Spine* 21, 2640-2650.
- Hodges, P. W., Mosely, G. L., Gabrielsen, A., Gandevia, S. C.** (2003): Experimental muscle pain changes feedforward postural responses of the trunk muscles. *Exp. Brain Res* 151, 262–71.
- Höher, J., Erggelet, C.** (2003): Übersicht über Therapieformen zur Behandlung der Arthrose. *Dtsche Z Sportmed* 54 (6), 188–190.
- Horak, F. B., Nashner, L. M.** (1986): Central programming of postural movements: Adaptation to altered Support-Surface Configurations. *J Neurophysiol* 55 (5).
- Hüppe, A., Raspe, H.** (2003): Die Wirksamkeit stationärer medizinischer Rehabilitation in Deutschland bei chronischen Rückenschmerzen: Eine systematische Literaturübersicht 1980 - 2001. *Rehabilitation* 42, 143–154.
- Hüppe, A., Raspe, H.** (2005): Zur Wirksamkeit von stationärer medizinischer Rehabilitation in Deutschland bei chronischen Rückenschmerzen: Aktualisierung und methodenkritische Diskussion einer Literaturübersicht. *Rehabilitation* 44, 1-10.
- Hunt, S. M., McEwen, J., McKenna, S. P.:** Measuring Health Status. Croom Helm, London 1986.

- Hunt, S. M., McEwen, J., McKenna, S. P., Becket, E. M., Williams, J., Papp, E. A.** (1980): Quantitative approach to perceived health status: a validation study. *J Epidemiol Comm Health* 34, 281-286.
- Insall, J. N., Dorr, L. D., Scott, R., Scott, W. N.** (1989): Rationale of the knee society clinical rating system. *Clin Orthop* 248, 13-14.
- Janda, V.** (1983): On the concept of postural muscles and posture in men. *Aust J Physiotherapie* 29, 83-84.
- Jannasch, O.:** Oberflächen EMG Untersuchung von chronischen Rückenschmerzpatienten und gesunden Vergleichspersonen mittels Oberflächenelektromyographie während statischer Belastung. Med Diss. Jena 2003.
- Kaigle, A. M., Wessberg, P., Hansson, T. H.** (1998): Muscular and kinematic behaviour of the lumbar spine during Flexion-Extension. *J Spinal Disord* 11 (2), 163-174.
- Klee, A.:** Haltung, muskuläre Balance und Training. Harry Deutsch, Frankfurt am Main 1994.
- Körner-Herwig, B.** (2004): Schmerz - eine Gegenstandsbeschreibung. Springer-Verlag, Heidelberg 2004.
- Koes, B. W., van Tulder, M. W., Thomas, S.** (2006): Diagnosis and treatment of low back pain. *BMJ* 2006, 1430-4.
- Kohlmann, T., Raspe, H.** (1996): Der Funktionsfragebogen Hannover zur alltagsnahen Diagnostik der Funktionsbeeinträchtigung durch Rückenschmerzen (FFbH-R). *Rehabilitation* 35, I-VIII.
- Kollmitzer, J., Ebenbichler, G. R., Sabo, A., Kerschan, K., Bochdansky, T.** (2000): Effects of back extensor strength training versus balance training on postural control. *Med Sci Sports Exerc* 32 (10), 1770-1776.
- Krämer, K.-L., Maichl, F.-P.:** Scores, Bewertungsschemata und Klassifikationen in der Orthopädie und Traumatologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1993.
- Lee, C. E., Simmonds, M., Novy, D. M., Jones, S.** (2001): Self-reports and clinician-measured physical function among patients with low back pain. *Arch Phys Med Rehabil* 82, 227-31.
- Liau, J.-J., Cheng, C.-K., Huang, C.-H., Lee, Y.-M., Chueh, S.-C., Lo, W.-H.** (1999): The influence of contact alignment of the tibiofemoral joint of the prostheses in in vitro biomechanical testing. *Clin Biomech* 14, 717-721.
- Linton, S. J.** (2000): A review of psychological risk factors in back and neck pain. *Spine* 25, 1148-1156.
- Lorimer, G., Moseley, D., Hodges, P. W.** (2005): Are the Changes in Postural Control Associated With Low Back Pain Caused by Pain Interference? *Clin J Pain* 21, 323-329.

- Lüder, S., Pfingsten, M., Lüdtke, K., Müller, G., Strube, J., Hildebrandt, J.** (2006): Kann die Aktivitätskapazität von Patienten mit Rückenschmerzen objektiv und reliabel gemessen werden? *Physioscience* 2, 147-155.
- Luoto, S., Taimela, S., Hurri, H., Aalto, H., Pyykkö, I. M. D., Alaranta, H.** (1996): Psychomotor Speed and Postural Control in Chronic Low Back Pain Patients: A Controlled Follow-Up Study. *Spine* 21 (22), 2621–2627.
- Luoto, S., Aalto, H., Taimela, S., Hurri, H., Pyykkö, I., Alaranta, H.** (1998): One-Footed and Externally Disturbed Two-Footed Postural Control in Patients With Chronic Low Back Pain and Healthy Control Subjects: A Controlled Study With Follow-Up. *Spine* 23 (19), 2081–2089.
- Magnussen, L., Strand, L. I., Lygren, H.** (2004): Reliability and validity of the back performance scale: Observing activity limitation in patients with back pain. *Spine* 29, 903–907.
- Mannion, A. F., Müntener, M., Taimela, S., Dvorak, J.** (2001): Comparison of three active therapies for chronic low back pain: Results of a randomized clinical trial with one-year follow-up. *Rheumatology* 40, 772–778.
- Mannion, A. F., Junge, A., Fairbank, J. C., Dvorak, J., Grob, D.** (2006): Development of a German version of the Oswestry Disability Index. Part 1: Cross-cultural adaptation, reliability, and validity. Part 2: sensitivity to change after spinal surgery. *Eur Spine J* 15, 55–73.
- Mayer, T. G., Gatchel, R. J., Mayer, H., Kishino, N. D., Keeley, J., Mooney, V.** (1987): A prospective two-year study of functional restoration in industrial low back injury. An objective assessment procedure. *JAMA* 258 (13):1763-7.
- Mazzocchio, R., Scarfò, G. B. Muzii A. M. V. F., Palma, L.** (2001): Recruitment curve of the soleus H-reflex in chronic back pain and lumbosacral radiculopathy. *BMC Musculoskel Disord* 2 (4).
- Meier, S., Neubauer, E., Schiltewolf, M.** (2009): Messung von Behandlungserfolg bei chronischen Rückenschmerzen lassen sich generelle Effekte in einer Gesamtstichprobe von Patienten mit chronischen Rückenschmerzen auf spezifische Effekte bei Individuen übertragen? *Schmerz* 23, 54–58.
- Merzoug, K., Hufnagel, S., Gillich, G., Arnold, B., Palecek, I., Jensen, U.** (1999): Behandlungsergebnisse bei chronischen Schmerzpatienten in der Tagesklinik. *Schmerz* 13 (Suppl.1), 92.
- Meyer, T., Pohontsch, N., Maurischat, C., Raspe, H.** (2009): Analyse des Wirksamkeitsproblems der stationären medizinischen Rehabilitation: Inwieweit werden potentielle Erfolge durch vorliegende Untersuchungsansätze maskiert? Projektbericht für die Deutsche Rentenversicherung Bund 2009.

- Mok, N. W., Brauer S. G., Hodges, P. W.** (2004): Hip strategy for balance control in quiet standing is reduced in people with low back pain. *Spine* 29 (6), E107-E112.
- Moseley, G. L., Hodges, P. W.** (2005): Are the Changes in Postural Control Associated With Low Back Pain Caused by Pain Interference? *Clin J Pain* 21 (4), 323–329.
- Müller, G., Hille, E.** (1996): Muskuläre Dysbalancen im Rumpf - Möglichkeiten und Grenzen der klinischen und maschinellen Diagnostik in der Sportmedizin. *Dtsche Z Sportmed* 47, 431 - 434; 483 – 487.
- Neuhauser, H., Ellert, U., Ziese, T.** (2005): Chronische Rückenschmerzen in der Allgemeinbevölkerung in Deutschland 2002/2003: Prävalenz und besonders betroffene Bevölkerungsgruppen. *Gesundheitswesen* 67, 685–693.
- Newcomer, K., Laskowski, E.R., Yu, B., Larson, R., An, K. N.** (2000): Repositioning error in low back pain. *Spine* 25, 245–250.
- Nieschalk, M., Winter, B., Stoll, W.** (1995): Klinische Aspekte zur Tinnitusbewältigung. *Laryngo-Rhino-Otologie* 74, 594-600.
- Norre, M. E., Forrez, G.** (1986): Posture testing (Posturography) in the diagnosis of peripheral Vestibular Pathology. *Z Arch Otorhinolaryngol* 243, 186-189.
- Norre, M. E., Forrez, G.** (1986): Vestibulospinal function in otoneurology. *Z Orl J Otorhinolaryngol Relat Spec* 48, 37-44.
- Norre, M. E., Forrez, G., Beckers, A.** (1987): Posturography Measuring Instability in Vestibular Dysfunction in the Elderly. *Z Age Ageing* 16, 89-93.
- Ojala, M., Matikainen, E., Juntunen, J.** (1989): Posturography and the Dizzi Patient: A Neurological Study of 133 Patients. *Z Acta Neurol Scand* 80, 118-122.
- Olbrich, D., Ruch, A.** (2001): Diagnostik bei Rückenschmerzen umfasst nicht nur das Soma: Gehen Sie auch psychischen Belastungen auf den Grund. *MMW-Fortschr Med* 143 (18), 22–25.
- Oppenheim, U.** (1999): Postural Characteristics of Diabetic Neuropathy. *Diabetes Care* 22 (2), 328–332.
- Pagel, T.:** Posturographische Untersuchungen bei Patienten mit zervikalem Schwindel. Med Diss. Berlin 2000.
- Panjabi, M. M.** (1992): The stabilizing system of the spine. Part I. Function, Dysfunction, Adaptation and Enhancement. *J Spinal Disord* 5 (4), 383–389.
- Papageorgiou, A. C., Macfarlane, G. F., Thomas, E., Croft, P. R., Jayson, M. I., Silman, A. J.** (1997): Psychosocial Factors in the Workplace - Do they predict new Episodes of low back pain? *Spine* 22 (10), 1137–1142.

- Patrick, D. L., Deyo, R. A., Atlas, S. J., Singer, D. E., Chapin, A., Keller, R. B.** (1995): Assessing health-related quality of life in patients with sciatica. *Spine* 20, 1899-908.
- Pfingsten, M., Hildebrandt, J., Saur, P., Franz, C., Seeger, D.** (1997): Das Göttinger Rücken Intensiv Programm (GRIP) Ein multimodales Behandlungsprogramm für Patienten mit chronischen Rückenschmerzen, Teil 4, Prognostik und Fazit; *Der Schmerz* 11, 30–41.
- Pfingsten, M., Hildebrandt, J., Müller, G., Lüder, S., Störmer, T., Lüdtke, S.** (2005): Praktikabilität und Aussagekraft von objektiven Funktionstests. *Schmerz* 19 (Suppl 1), 27-28.
- Pfingsten, M.; Nilges, P.:** Psychologische Evaluation: Schmerz- und Schmerzdiagnostik. Rückenschmerz und Lendenwirbelsäule. Elsevier: Urban & Fischer, München 2011, 150-162.
- Pöhlmann, K., Tonhauser, T., Joraschky, P., Arnold, B.** (2009): The Dachau multidisciplinary treatment program for chronic pain. Efficacy data of a diagnosis-independent multidisciplinary treatment program for back pain and other types of chronic pain. *Schmerz* 23, 40–46.
- Poland, J. L.:** The musculoskeletal system. Huber-Verlag, Bern, Stuttgart, Wien 1981.
- Popa, T., Bonifazi, M., Della Volpe, R., Rossi, A., Mazzocchio, R.** (2007): Adaptive changes in postural strategy selection in chronic low back pain. *Exp Brain Res* 177, 411–418.
- Radebold, A., Cholewicki, J., Polzhofer, G. K., Greene, H. S.** (2001): Impaired postural control of the lumbar spine is associated with delayed muscle response times in patients with chronic idiopathic low back pain. *Spine* 26, 724–730.
- Rasev, E.** (1999): Was ist Koordination? *Z Die Säule* 4, 6-14.
- Raspe, H.:** Wie lässt sich der Erfolg von Rehabilitationsmaßnahmen beurteilen? *Zeitfragen der Medizin*. Springer-Verlag, Berlin 1998.
- Reuss-Borst, M., Hartmann, U., Wentrock, S.** (2008): Wirkung eines sanften Gerätetrainings während stationärer Rehabilitation bei Patienten mit chronischen Rückenschmerzen. *Z Sportmed* 59 (11), 263–267.
- Riddle, D. L., Stratford, P. W., Binkley, J. M.** (1998): Sensitivity to change of the Roland-Morris Back Pain Questionnaire: Part 2. *Phys Ther* 78, 1197-1207.
- Roy, S. H., De Luca, C. J., Casavant, D. A.** (1988): Lumbar muscle fatigue and chronic lower back pain. *Spine* 14, 992–1001.
- Runge, M.** (2002): Diagnostik des Sturzrisikos bei älter werdenden Menschen. *Therapeutische Umschau* 7, 351–358.

- Runge, M.** (2006 a): Lokomotorisches Assessment. *Arthritis + Rheuma* 4, 217–224.
- Runge, M.** (2006 b): Was zählt, ist die Kraft am Knochen: Gegen Osteoporose mit gezielter Bewegung. *Hausarzt* 4, 2–5.
- Runge, M., Felsenberg, D.** (2006): Bewegungsprogramm zur Prävention von Stürzen und Frakturen. *Arthritis + Rheuma* 4, 239–247.
- Saur, P.M., Ensink, F.B., Frese, K., Seeger, D., Hildebrandt, J.** (1996): Lumbar range of motion: Reliability and validity of the inclinometer technique in the clinical measurement of trunk flexibility. *Spine* 21, 1332–1338.
- Saur, P., Koch, D., Steinmetz, U., Straub, A., Ensink, F. B., Kettler, D., Hildebrandt, J.** (1997) Die isokinetische Kraftleistungsfähigkeit der Rumpfmuskulatur von Patienten mit chronischen Rückenschmerzen. *Z Orthop ihre Grenzgeb* 135, 315–322.
- Saur, P., Hildebrandt, J., Pflingsten, M., Franz, C., Seeger, D.** (1996): Das Göttinger Rücken Intensiv Programm (GRIP), Teil 2: Somatische Aspekte. *Schmerz* 10, 237–153.
- Schütze, A., Kaiser, U., Ettrich, U., Grosse, K., Gossrau, G., Schiller, M.** (2009): Evaluation of a multimodal pain therapy at the University Pain Centre Dresden. *Schmerz* 23, 609–617.
- Schlumpf, U., Mariacher, S.** (2002): Arthrose: Physiotherapie: Wann, welche, wie viel? *Schweiz Med Forum* 24, 581–584.
- Schwesig, R., Müller, K., Leuchte, S., Riede, D.** (2002): Koordinationstraining bei Pflegepersonal mit Rückenschmerzen. *Phys Med Rehabilmed Kurortmed* 1127, 73–82.
- Schwesig, R., Müller, K., Becker, S., Kreutzfeldt, A., Hottenrott, K.** (2006): Sensomotorisches Training im Alter und bei Osteoporose. *Akt Rheumatol* 31, 192–199.
- Seifert, K.** (1995): Schwindel im Alter. Selten besteht nur eine einzige Ursache. *Z HNO Highlights* 5, 25-33.
- Soehnle Professional GmbH Co. KG:** Balance-X-Sensor Bedienungsanleitung. Online verfügbar unter www.soehnle-professional.com. o. J.
- Spinhoven, P., TerKuile, M. M., Linssen, A. C. G., Gazedam, B.** (1989): Pain coping strategies in a dutch population of chronic low back pain patients. *Pain* 37, 77-83.
- Stoll, W., Matz, D., Most, E.:** Schwindel und Gleichgewichtsstörungen. (3. Auflage) Thieme-Verlag Stuttgart, New York 1986
- Stratford, P. W., Binkley, J., Solomon, P., Gill, C., Finch, E.** (1994): Assessing change over time in patients with low back pain. *Phys Ther* 74, 528-33.

- Stucki, G., Meier, D., Stucki, S., Michell, B. A., Tyndall, A. G., Dick, W., Theiler, R.** (1996): Evaluation einer deutschen Version des WOMAC (Western Ontario McMaster Universities) Arthroseindex. *Z Rheumatol*, 55, 40–49.
- Taguchi, K.** (1978): Spectral analysis of the movement of the center of gravity in vertiginous and ataxic patients. *Agressologie* 19, 69–70.
- Taylor, W.R., Consmüller, C., Rohmann, A.** (2010): A novel system for the dynamic assessment of back shape. *Medical Engineering & Physics* 32, 1080-1083.
- Tossavainen, T., Toppila, E., Pyykkö, I., Forsman, P. M., Juhola, M., Starck, J.** (2006): Virtual reality in posturography. *IEEE Trans Inf Technol Biomed* 10, 282–292.
- Van Roy, P., Barbaix, E., Clarijs, J. P., Mense, S.** (2001): Der anatomische Hintergrund von Rückenschmerz Formvariabilität und Degeneration des lumbalen Spinalkanals und der Zwischenwirbelscheibe. *Schmerz* 15, 418–424.
- Van Tulder, M. W., Assendelft, W. J., Koes, B. W.** (1997): Spinal radiographic findings and nonspecific low back pain. A systematic review of observational studies. *Spine* 15, 427–434.
- Wagner, E., Ehrenhofer, B., Lackerbauer, E., Pawelak, U., Siegmeth, W.** (2001): Rehabilitation des chronisch unspezifischen Kreuzschmerzes: Ergebnisse eines multimodalen stationären Behandlungskonzepts. *Schmerz* 21, 226–233.
- Wäntig, J. K. L.:** Erfolg der stationären rehabilitation bei chronischen Rückenschmerzpatienten aus Sicht der Rehabilitanten. Med Diss. Lübeck 2009.
- Ware, J. E.** (1992): SF-36 Health Survey, manual and interpretation guide. The Health Institute, Boston
- Ware, J. E.** (1994): How to score the SF-36 Health Survey. The Health Institute Medical Outcomes Trust, Boston
- Ware, J. E.** (1994): SF-36 Physical and mental Health Summary Scales: a user's manual, The Health Institute, Boston.
- Ware, J. E., Sherbourne, C. D.** (1992): The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). *Med. Care* 30, 473-483.
- Weber, U., Holzmann, M., Vieregge, P.** (2000): Die Erfassung alltagsrelevanter Mobilität in der Geriatrie mittels statischer Posturographie: Eine bevölkerungsbezogene Studie. *Z Gerontol Geriat* 33, 401–409.
- Weisemann, J. A.:** Der Rombergsche Stehversuch: Der Einfluss von wiederholten Untersuchungen und verschiedenen Kopf – und Körperhaltungen auf das aufrechte Stehen. Eine posturographische Untersuchung an einem gesunden Kollektiv. Med Diss. Berlin 1988.

Wilke, C., Froböse, I.: Grundlagen der Bewegungssteuerung und des koordinativen Trainings in der Therapie. In: Froböse, I., Nellesen, G.: Training in der Therapie. (1. Auflage). Ullstein Medical, Wiesbaden 1998.

Winchenbach, H. (2003): Welche Bedeutung hat die Kraft für die Haltung. Gesundheitsport Sportther 19, 171–172.

Witte, H., Recknagel S. (1997): Ist die indirekte Posturographie mittels Kraftmessplatten der direkten Posturographie durch Bewegungsanalyse gleichwertig? Eine Physikalische Betrachtung. Biomed Tech 42 (10), 280–283.

World Health Organization Technical Report Series: The Burden of musculoskeletal conditions at the start of the new millennium. World Health Organization, Geneva 2003.

Danksagung

Ich danke Frau Prof. Dr. M. Reuss-Borst, Chefärztin der Rehaklinik Am Kurpark in Bad Kissingen, für die Überlassung des Themas.

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. M. Pfingsten, dessen Unterstützung die Fertigstellung dieser Untersuchung überhaupt erst möglich gemacht hat.

Ganz besonderer Dank gilt Frau Dr. Ute Hartmann und Herrn Steffen Wentrock für ihre gute Betreuung und ihr stetes Bestreben, mir mit Rat und Tat zur Seite zu stehen.

Für die Beratung bei der statistischen Auswertung der Daten bin ich Herrn Dr. K. Jung in der Abteilung für Medizinische Statistik des Universitätsklinikums Göttingen zu großem Dank verpflichtet.

Bei allen Mitarbeitern der Rehaklinik Am Kurpark möchte ich mich für die gewissenhafte Datenerfassung und Unterstützung bei der Studienplanung bedanken.

Nicht zuletzt danke ich auch meinem Ehemann Daniel Burke und meiner Familie, für die tatkräftige Unterstützung in all den Jahren.

Lebenslauf

Am 20. Juni 1983 wurde ich, Josephine Burke (geb. Konrad), in Magdeburg geboren.

Von 1990 bis 1994 besuchte ich zunächst die Grundschule, von 1994 bis 2003 dann das Ökumenische Domgymnasium in Magdeburg. Dort erlangte ich im 2003 die Allgemeine Hochschulreife.

Von Juli 2003 bis März 2004 absolvierte ich ein Freiwilliges Soziales Jahr in der Stiftung Evangelische Jugendhilfe St. Johannis Bernburg.

Mein Hochschulstudium begann ich im April 2004 an der Georg-August Universität Göttingen, wo ich 2006 den Ersten Abschnitt der ärztlichen Prüfung ablegte. 2010 absolvierte ich den Zweiten Abschnitt der ärztlichen Prüfung und erhielt meine Approbation als Ärztin.

Das erste Tertial des Praktischen Jahres absolvierte ich von Februar bis Juni 2009 in der Abteilung Innere Medizin des Uniklinikums Göttingen. Von Juni bis Oktober 2009 schloss sich das zweite Tertial in der Abteilung Chirurgie des Krankenhauses Neu-Mariahilf in Göttingen an. Als Wahlfach für mein drittes PJ-Tertial wählte ich die Allgemeinmedizin. Dieses absolvierte ich von Oktober 2009 bis Februar 2010 in der Allgemeinarztpraxis von Dr. med. T. Fischer in Göttingen.

Von 2006 – 2009 arbeitete ich als studentische Hilfskraft im Kurs „Ärztliche Basisfertigkeiten“ in der Abteilung Allgemeinmedizin des Uniklinikums Göttingen. 2008 leitete ich ebenfalls als studentische Hilfskraft das EKG-Seminar der Abteilung Kardiologie des Uniklinikums Göttingen.

Seit dem 10.01.2011 bin ich als Assistenzärztin in Weiterbildung zur Allgemeinmedizinerin in den Main-Kinzig-Kliniken Gelnhausen tätig.