

**Aus der Orthopädischen Klinik und Poliklinik
und
dem Institut für Physikalische Therapie, Prävention und Rehabilitation
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz**

**Der Einfluss von Wirbelsäulenschmerz,
Wirbelsäulenstatik und Wirbelsäulenbeweglichkeit
auf das Sturzrisiko**

-

eine Evaluation von Osteoporosepatienten

**D i s s e r t a t i o n
zur Erlangung des Doktorgrades
der physiologischen Wissenschaften**

**der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
vorgelegt von**

**Antonia Diegisser
aus Krefeld**

Mainz, 2013

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. U. Förstermann

1. Gutachter: PD Dr. med. Ph. Drees

2. Gutachter: PD Dr. med. B. Habermann

3. Gutachter: Prof. Dr. med. J.-D. Rompe

Tag der Promotion:

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	11
2	Literaturdiskussion.....	14
2.1	Gleichgewicht und Posturale Kontrolle.....	14
2.1.1	Posturale Kontrolle im Alter.....	16
2.1.2	Gleichgewicht im Alter – Einfluss auf die Posturale Kontrolle.....	16
2.1.3	Sehvermögen im Alter – Einfluss auf die Posturale Kontrolle.....	18
2.1.4	Zentrales Nervensystem und Kognition im Alter – Einfluss auf die Posturale Kontrolle.....	18
2.1.5	Bewegungssystem im Alter – Einfluss auf die Posturale Kontrolle.....	19
2.2	Osteoporose.....	22
2.2.1	Einfluss der Osteoporose auf die Wirbelsäule.....	24
2.2.2	Osteoporose- und Frakturprophylaxe.....	27
2.3	Möglichkeiten der Haltungs- und Bewegungsmessung an der Wirbelsäule.....	29
2.3.1	Nicht-invasive Messmethoden zur Haltungs- und Bewegungsmessung an der Wirbelsäule.....	30
2.3.1.1	Nicht-technische Untersuchungsverfahren.....	30
2.3.1.2	Technische Untersuchungsverfahren.....	33
2.3.1.2.1	Optische Verfahren.....	34
2.3.1.2.2	Ultraschallgestütztes Verfahren.....	35
2.3.1.2.3	Verfahren mittels Funksignal.....	36
2.3.2	Invasive Messmethoden zur Haltungs- und Bewegungsmessung an der Wirbelsäule.....	38
2.4	Möglichkeiten der Schmerzmessung.....	38
2.4.1	Experimentelle Schmerzmessung.....	39
2.4.2	Erfassung der klinischen Schmerzen.....	39
2.4.3	Erfassung emotionaler und psychosozialer Beeinträchtigung bei Schmerzen.....	41
2.5	Sturz.....	41
2.5.1	Sturzmechanismen.....	44

2.5.2	Ursachen und Risikofaktoren für Stürze	49
2.5.3	Möglichkeiten der Messung des Sturzrisikos	52
2.5.4	Sturzprävention	56
2.6	Sturz und Osteoporose.....	61
2.6.1	Sturzrisiko bei osteoporosebedingten Wirbelsäulenschmerzen	62
2.6.2	Sturzrisiko bei osteoporosebedingter Veränderung der Wirbelsäulenstatik	65
2.6.3	Sturzrisiko bei osteoporosebedingter verminderter Wirbelsäulenbeweglichkeit	67
3	Probanden und Methoden.....	70
3.1	Probanden	70
3.2	Methoden	71
3.2.1	Halte- und Bewegungsmessungen.....	71
3.2.2	Erfassung bekannter Sturzrisikofaktoren	73
3.2.3	Sturzrisikotests.....	74
3.2.3.1	<i>Timed-Up-and-Go</i> Test	74
3.2.3.2	Tinetti Test	74
3.2.3.3	<i>Chair-Rising</i> Test	75
3.2.3.4	Tandemstand	75
3.2.4	Statistische Auswertung	75
4	Ergebnisse.....	82
4.1	Deskriptive Statistik.....	82
4.2	Beantwortung der Studienfragen.....	86
4.2.1	Beantwortung der Hauptfragestellungen (konfirmatorisch)	86
4.2.1.1	Einfluss des Wirbelsäulenschmerzes auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten.....	86
4.2.1.2	Einfluss der Wirbelsäulenstatik (Inklination) auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten.....	88

4.2.1.3	Einfluss der Wirbelsäulenbeweglichkeit (Summenscore der Rotation, Lateralflexion, Extension, Flexion) auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten.....	88
4.2.2	Beantwortung der Nebenfragestellungen (explorativ)	89
4.2.2.1	Einfluss des Wirbelsäulenschmerzes auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten	92
4.2.2.2	Einfluss der Dimensionen der Wirbelsäulenstatik (Inklination, Kyphose, Lordose) auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten	92
4.2.2.3	Einfluss der Dimensionen der Wirbelsäulenbeweglichkeit (Rotation, Lateralflexion, Extension-Flexion) auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten	92
4.2.2.4	Einfluss aller bekannten Risikofaktoren auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten	94
4.2.3	Vergleich von TUG und Tinetti Test als Sturzrisikotest	95
4.2.3.1	Einfluss des Wirbelsäulenschmerzes auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem TUG im Vergleich zum Tinetti Test) von Osteoporosepatienten	98
4.2.3.2	Einfluss der Dimensionen der Wirbelsäulenstatik (Inklination, Kyphose, Lordose) auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem TUG im Vergleich zum Tinetti Test) von Osteoporosepatienten	98
4.2.3.3	Einfluss der Dimensionen der Wirbelsäulenbeweglichkeit (Rotation, Lateralflexion, Extension-Flexion) auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem TUG im Vergleich zum Tinetti Test) von Osteoporosepatienten.....	100
4.2.3.4	Einfluss aller bekannten Risikofaktoren auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem TUG im Vergleich zum Tinetti Test) von Osteoporosepatienten.....	101
5	Diskussion.....	102
5.1	Wirbelsäulenschmerzen	102
5.2	Wirbelsäulenbeweglichkeit.....	104
5.3	Wirbelsäulenstatik	106
5.4	Sturzrisiko gemessen mit dem TUG im Vergleich zum Tinetti Test	110
5.5	Unterschiedliche Testverfahren	112
5.6	Probandenkollektiv	114
5.7	Allgemein.....	115

6	Zusammenfassung	117
7	Literaturverzeichnis	120
8	Anhang.....	131

Abkürzungsverzeichnis

3D	dreidimensional
BROM	<i>back range of motion</i>
BWS	Brustwirbelsäule
BWS Kyph	Brustwirbelsäulen-Kyphose
COG	<i>Center of Gravity</i> (Körperschwerpunkt)
COP	<i>Center of Pressure</i> (Unterstützungsfläche)
DXA-Verfahren	<i>Dual-Energy-X-ray Absorptiometry</i> , deutsch: Doppel-Röntgen-Absorptionsmessung
DVO	Dachverband Osteologie
EVOS	Europäischen Studie zur Vertebraalen Osteoporose
FAR	<i>functional axial rotation</i>
FIM	<i>Functional Independence Measure</i>
JOQOL	<i>Japanese Osteoporosis QOL Questionnaire</i>
L5/S1	zwischen Lendenwirbel 5 und Steißbeinwirbel 1
LWS	Lendenwirbelsäule
LWS Lord	Lendenwirbelsäulen-Lordose
MMSE	<i>Mini-Mental State Examination</i>
MW	Mittelwert
NRS	Numerische Beurteilungsskala
NSAR	Nichtsteriodale Antirheumatika
PASE	<i>Physical Activity Scale for the Elderly</i>
POMA	<i>Performance-Oriented Mobility Assessment</i>
QOL	<i>Quality of life</i>
R	Korrelationskoeffizient
RF	Risikofaktoren
SD	Standardabweichung

SGB Sozialgesetzbuch

SPPB *Short Physical Performance Battery*

SPSS *Statistical Package of the Social Sciences*

t *time*

TUG Test *Timed-up-and-go Test*

VAS Visuelle Analogskale

WHO *World Health Organization*

WS Wirbelsäule

Bilderverzeichnis

Bild 1: Typische osteoporosebedingte Veränderungen an der Wirbelsäulenstatik	24
Bild 2: „Bubble-Inklinometer“ (a), Pendel-Inklinometer (Plurimeter n. Rippstein) (b), elektrisches Inklinometer (c)	32
Bild 3: Plurikompass nach Rippstein	32
Bild 4: Moiretopographie.....	34
Bild 5: Rasterstereometrie-Formetric-System.....	35
Bild 6: 3D-Wirbelsäulenanalysegerät der Firma „Zebris“	36
Bild 7: MediMouse®	36
Bild 8: Ablauf der Messung mit der MediMouse®	37
Bild 9: Videosequenzen von realen Stürzen	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Effekt von Physiotherapie bzw. Bewegungstherapie auf die Knochenfestigkeit	28
Tabelle 2: Methoden der Schmerzinduktion	39
Tabelle 3: Erfassung emotionaler Reaktionen bei Schmerzen	41
Tabelle 4: Einteilung der Risikofaktoren für Stürze mit Beispielen.....	51
Tabelle 5: Übersicht über die wichtigsten Risikofaktoren	52
Tabelle 6: Einteilung funktioneller Testverfahren zur Messung des Sturzrisikos	53
Tabelle 7: Ableitung von Interventionen	57
Tabelle 8: Inhalte von Bewegungsangeboten zur Sturzprävention	59
Tabelle 9: Training zur Sturzprävention bei Patienten mit Osteoporose	61
Tabelle 10: Merkmale der eingeschlossenen Probanden.....	71
Tabelle 11: Überblick über sturzunabhängige Risikofaktoren.....	83
Tabelle 12: Ergebnisse der motorischen Tests zur Bestimmung des Sturzrisikos	84
Tabelle 13: Ergebnisse der Messung der Wirbelsäulenbeweglichkeit	85
Tabelle 14: Ergebnisse der Messung der Wirbelsäulenstatik	85
Tabelle 15: Potenzielle Risikofaktoren und ihr Einfluss auf das Sturzrisiko (gemessen mit Tinetti Test)	86
Tabelle 16: Einflussfaktoren auf das Sturzrisiko (gemessen mit Tinetti Test).....	91
Tabelle 17: Alle bekannten Einflussfaktoren auf das Sturzrisiko (gemessen mit Tinetti Test)	94
Tabelle 18: Einflussfaktoren auf das Sturzrisiko (gemessen mit Timed-Up-and-Go Test)	96
Tabelle 19: Einflussfaktoren auf das Sturzrisiko (Vergleich Tinetti und TUG Test).....	97
Tabelle 20: Alle bekannten Einflussfaktoren auf das Sturzrisiko (gemessen mit TUG Test)	101
Tabelle 21: Ergebnisse der Wirbelsäulenstatik-Messung im Vergleich	108
Tabelle 22: Ergebnisse der Wirbelsäulenbeweglichkeit-Messung im Vergleich.....	108
Tabelle 23: Messergebnisse der Wirbelsäulenformen von Osteoporosepatienten nach der Klassifikation in fünf Subtypen.....	110
Tabelle 24: Überblick über Messmethoden zur Erfassung des Sturzrisikos	112

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Strategien zum Erhalt des Gleichgewichts	15
Abbildung 2: Zwei Strategien zum Erhalt des Gleichgewichts.....	15
Abbildung 3: Vergleich zwischen dem Gang eines alten Menschen (A) und dem eines jüngeren Menschen (B).....	17
Abbildung 4: Altersbedingte Veränderungen im sensomotorischen System	21
Abbildung 5: Zusammenhang zwischen dem Brust- und Lendenwirbelsäulen- Verhältnis und einer dekompenzierten sagittalen Balance	26
Abbildung 6: Überblick über Möglichkeiten der Haltungs- und Bewegungsmessung an der Wirbelsäule	29
Abbildung 7: Kyphometer nach Debrunner.....	31
Abbildung 8: Plurimeter-Helm (a), back range of motion (BROM) (b)	33
Abbildung 9: Grafische Darstellung der Wirbelsäulenstatik und –beweglichkeit	37
Abbildung 10: Visuelle Analogskale (a) und Numerische Analogskale (b)	40
Abbildung 11: Inzidenzrate der Stürze	43
Abbildung 12: Bewegungsanalyse eines typischen Sturzes nach hinten	45
Abbildung 13: Typische Schrittstrategien von jüngeren und älteren Personen bei einer seitlichen Störung des Gleichgewichtes	47
Abbildung 14: Ursache-Wirkungs-Modell von Stürzen nach Granacher.....	50
Abbildung 15: Schmerzlokalisationen bei Osteoporose	63
Abbildung 16: Prozentuale Verteilung der Sturzrate der einzelnen Schmerzgruppen während der Nachuntersuchungszeit	64
Abbildung 17: Zusammenhang zwischen einer entstehenden Kyphose mit dem Sturzrisiko	66
Abbildung 18: Berechnung der Linearen Regressionen (Modell 1-5)	78
Abbildung 19: Aufteilung der Berechnung der Linearen Regressionen (Modelle 2-4)	79
Abbildung 20: Auswirkung des Wirbelsäulenschmerzes auf das Ergebnis des Tinetti Tests	87
Abbildung 21: Auswirkung der Wirbelsäulengesamtbeweglichkeit auf das Ergebnis des Tinetti Tests	89
Abbildung 22: Auswirkung der Wirbelsäulenrotation auf das Ergebnis des Tinetti Tests	93
Abbildung 23: Auswirkung der Lendenwirbelsäulenlordose auf das Ergebnis des TUG Tests	99
Abbildung 24: Klassifikation der Wirbelsäulenformen in Subtypen.....	109

Formelverzeichnis

Formel 1: Regressionskoeffizient	9
---	---

1 Einleitung

Der demografische Wandel ist unaufhaltsam. Derzeit leben in Deutschland 82,4 Millionen Einwohner. Bis 2050 wird die Anzahl schätzungsweise auf 74 Millionen sinken. Die Bevölkerungszahl geht zurück, es werden weniger Kinder geboren und der Anteil alter Menschen, die zudem noch länger leben, steigt. Im Jahr 2050 wird die Zahl der 60-Jährigen doppelt so hoch sein wie die der Neugeborenen. Dagegen wird sich der Anteil der 80-Jährigen und Älteren nahezu verdreifachen (2). Die Behandlungen typischer Alterserkrankungen wie Herz-Kreislaufstörungen, Krebsleiden, Demenz und Knochenerkrankungen (bspw. Frakturen, Osteoporose) wird im Gesundheitswesen immer mehr an Bedeutung gewinnen. Um dieser großen Herausforderung gewappnet zu sein, müssen präventive Maßnahmen schon heute die Bevölkerung erreichen und vor allem effektiv gestaltet werden.

Eine dieser Herausforderungen, deren Ausmaß in den nächsten Jahren weiterhin steigen wird, ist die Tatsache, dass immer mehr ältere Menschen in Deutschland immer häufiger stürzen werden. Das Sturzrisiko ist ab dem 65. Lebensjahr deutlich erhöht und steigt proportional mit dem Alter, insbesondere beim Vorliegen einer Multimorbidität, wie beispielsweise der Osteoporose (3-5). Die Folgen von Stürzen sind weitreichend. Sie können bei Prellungen und Schürfwunden beginnen und bis zu Frakturen an Hüfte und Wirbelsäule oder Schädel-Hirn-Traumata reichen. Nicht selten folgt eine Zeit der Immobilisation, beispielsweise durch eine operative Versorgung oder Rehabilitationsphase. Stürze sind zu 40 % für Einweisungen in Pflegeeinrichtungen verantwortlich (6). Mehr als 90 % der proximalen Femurfrakturen entstehen als Sturzfolge (7, 8). Nach einer Hüftfraktur bedingt durch einen Sturz erreichen laut einer Untersuchung von Tinetti nur 50 % den Grad der vorher bestandenen Selbstständigkeit, 17 % erleiden eine Pflegebedürftigkeit und 18 % versterben (9). Diese Zahlen verdeutlichen eindrucksvoll die Wichtigkeit der Thematik Sturzprävention.

Ein Sturz ist ein multikausales Geschehen. In der Literatur und Praxis sind einige unabhängige Risikofaktoren für Stürze bekannt. Sie umfassen die Muskelleistung der unteren Extremitäten, die seitliche Balance, klinisch erkennbare Gehstörungen, Visusminderungen, die Einnahme von vier oder mehr verschiedenen Medikamenten

bzw. bestimmter Gruppen psychotroper Pharmaka sowie kognitive Störungen und die Sturzanamnese (10-12).

Über die Hälfte der Patienten mit sturzbedingten Hüftfrakturen haben eine gesicherte Diagnose der Osteoporose (2, 10). Die Osteoporose ist die häufigste Knochenkrankung im höheren Lebensalter. Hochrechnungen zufolge leidet ein Viertel der deutschen Bevölkerung über 50 Jahre an Osteoporose (2). Leitsymptome der Osteoporose sind zum einen Schmerzen im Rückenbereich, statische Veränderungen in Richtung der Kyphose und Hypomobilität des gesamten Wirbelsäulenapparates (11). Durch langanhaltende Rückenschmerzen kommt es zur Vermeidung bestimmter Bewegungen. Das Aktivitätsniveau wird herabgesetzt, was eine Abnahme der Muskelkraft zur Folge hat. Bewegungen laufen unkoordinierter und weniger differenziert ab, was eine angemessene Reaktion auf Gleichgewichtsstörungen potentiell stört. Die eingeschränkten Bewegungsmöglichkeiten einer hypomobilen Wirbelsäule reduzieren die Vielfalt der Gleichgewichtsreaktionen. Durch eine Kyphosierung der Wirbelsäule verlagert sich der Körperschwerpunkt nach ventral, was eine erhöhte Instabilität des Körpers zur Folge haben kann. Durch diese beschriebenen Symptomketten könnte ein Teufelskreislauf aus Sturzangst und Gangunsicherheit entstehen, die Stürze und Frakturen nach sich ziehen und so neue Angst und Unsicherheit erzeugt. In bisherigen wissenschaftlichen Untersuchungen finden diese drei Wirbelsäulen Aspekte der Osteoporose als vermutete Risikofaktoren für Stürze noch sehr wenig Beachtung oder werden verkannt (3, 13-15). Auch in aktuellen Sturzprophylaxe-Übungsprogrammen für ältere Menschen, die als Präventionskurs nach § 20 SGB von den Krankenkassen anerkannt und finanziell unterstützt werden, liegt der Schwerpunkt fast ausschließlich auf der Verbesserung der Muskelkraft und des Gleichgewichtes (16). Die oben genannten Faktoren, die Wirbelsäule betreffend, werden nicht berücksichtigt.

Die vorliegende Arbeit untersucht die Wirbelsäulenbeweglichkeit, die Wirbelsäulenstatik und den Wirbelsäulenschmerz als potentielle Risikofaktoren für Stürze. Daraus ergeben sich drei Hauptfragestellungen:

1. Hat der Wirbelsäulenschmerz einen Einfluss auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten?
2. Hat die Wirbelsäulenstatik (gemessen an der Inklination) einen Einfluss auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten?

3. Hat die Wirbelsäulenbeweglichkeit (Summenscore aus Rotation, Lateralflexion, Extension, Flexion) einen Einfluss auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten?

Um der Multikausalität des Sturzes gerecht zu werden, sind in der geplanten Studie durch eine breite Datenerfassung alle Risikofaktoren für Stürze in die Berechnung mit eingeflossen. Die Ergebnisse der potentiellen Risikofaktoren werden dazu auf die in der Literatur bereits bekannten Risikofaktoren (u.a. Alter, Kraftmangel, Gangunsicherheit, Multimedikation) adjustiert. Osteoporosepatienten eignen sich hervorragend dafür, die Sturzneigung alternder Menschen bezüglich der Wirbelsäulenfaktoren Schmerz, Statik und Beweglichkeit zu untersuchen, da sich bei ihnen die alterstypischen Veränderungen der Wirbelsäule in protrahierter Form finden.

2 Literaturdiskussion

2.1 Gleichgewicht und Posturale Kontrolle

Das Gleichgewicht beschreibt die Fähigkeit des Körpers, in jeder Position (z. B. freier Sitz, Stand) oder Aktion (z. B. Gehen, Laufen), eine ruhige aufrechte Haltung und zielgerichtete Bewegungen zu ermöglichen. Der Erhalt des Gleichgewichts im aufrechten Stand und bei Bewegung ist das Ergebnis einer funktionierenden posturalen Kontrolle.

Die posturale Kontrolle (Haltungskontrolle) beinhaltet die statische und dynamische Fähigkeit, sich gegen die Wirkung der Schwerkraft aufzurichten. Diese ändert sich ständig, je nach Körperposition im Raum bzw. Veränderung der Unterstützungsfläche (17). Biomechanisch betrachtet bedeutet dies, dass das Lot durch den Körperschwerpunkt innerhalb der Unterstützungsfläche (Füße) liegen muss, um eine stabile Gleichgewichtssituation zu gewährleisten (18). Posturale Kontrolle meint somit die Kontrolle des Körpers im Raum mit dem Ziel, Stabilität zu gewährleisten, während man sich in der Umwelt orientiert, um unterschiedlichen Aufgaben nachzugehen. Haltung und Balance beinhalten nicht nur eine Haltefähigkeit, um im Stand oder bei Bewegung auf Instabilität adäquat reagieren zu können, sondern auch die Fähigkeit, destabilisierende Faktoren vorherzusehen und sich entsprechend zu bewegen (17). Diese Fähigkeiten resultieren aus dem Zusammenspiel eines intakten muskuloskeletalen und neuronalen Systems. In der Literatur werden verschiedene Strategien beschrieben, die zur Stabilisation des Gleichgewichts genutzt werden können. In der ersten Zeichnung von Abbildung 1 wird grafisch die Fußgelenksstrategie erläutert, bei der posturales Schwanken mit Bewegungen und Muskelaktivitäten um das Fußgelenk kompensiert wird. Die zweite Zeichnung zeigt die Hüftgelenksstrategie und das dritte Bild stellt das Zusammenwirken von Knie-, Hüft- und Fußgelenk dar. Horak et al. verweisen zusätzlich auf die Schrittstrategie, welche durch kleine Schritte oder einen Ausfallschritt den Körper wieder ins Gleichgewicht bringen soll (19). Die Fußgelenksstrategie wird bei geringen Störungen von außen auf großer Unterstützungsfläche eingesetzt, die Hüftgelenksstrategie bei größeren Störungen und kleineren Unterstützungsflächen und die Schrittstrategie, wenn die beiden anderen Strategien dysfunktional erscheinen (19).

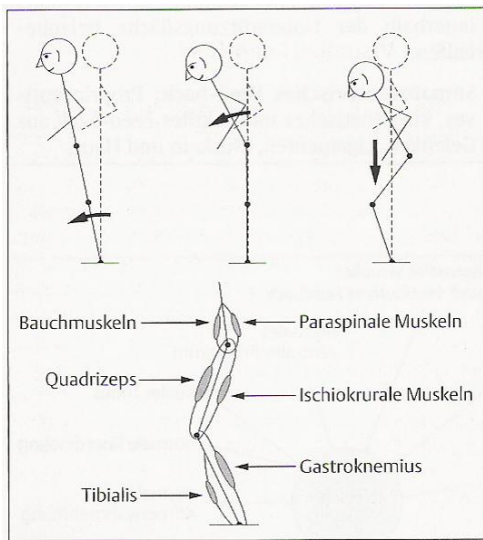


Abbildung 1: Strategien zum Erhalt des Gleichgewichts (19)

Maki et al. unterteilt die Gleichgewichtsreaktion in zwei Gruppen. Er fasst die Fuß- und Hüftgelenksstrategie zusammen in die „*fixed-support strategies*“, bei dem der Körperschwerpunkt über der fixierten Unterstützungsfläche bleibt (siehe Abbildung 2). Bei Störungen in Richtung anterior-posterior kommt hierbei hauptsächlich die Fußgelenksstrategie zum Einsatz, während die Hüftgelenksstrategie bei mediolateralen Schwankungen dominiert. Die andere Gleichgewichtsstrategie bezeichnet er als „*change-in-support strategies*“, die abgerufen wird, wenn der Körperschwerpunkt zu nah an die Grenzen der Unterstützungsfläche gerät bzw. sie überschreitet. Um die Unterstützungsfläche rasch zu vergrößern und einen drohenden Gleichgewichtsverlust zu vermeiden, kommt es zu einem schnellen Ausfallschritt oder einem Greifen mit dem Arm nach Halt (21).

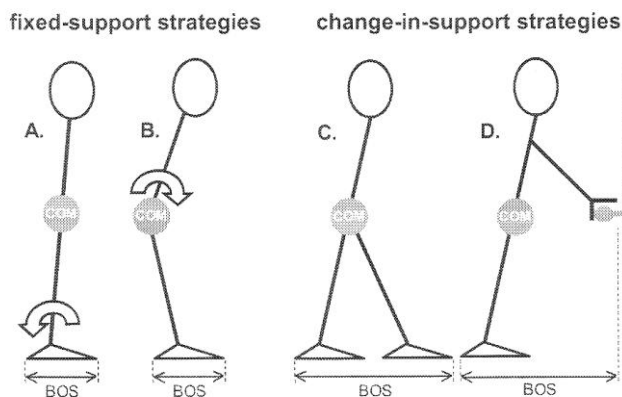


Abbildung 2: Zwei Strategien zum Erhalt des Gleichgewichts (21)

2.1.1 Posturale Kontrolle im Alter

Wie wir altern, hängt enorm von einer gesunden Lebensweise ab. Eine gesunde Lebensweise kann das biologische Altern verlangsamen. In diesem Zusammenhang spricht man von einer Heterogenität des Alterns. Ob, wann und worin sich ein Rückgang zeigt, ist sehr unterschiedlich und abhängig von der Person, Aufgabe und Umgebung (22). Das Alter bringt eine Vielzahl an individuell unterschiedlich ausgeprägten physiologischen Veränderungen mit sich. Im Folgenden sollen im Hinblick auf Sturzrisikofaktoren die körperlichen Veränderungen näher betrachtet werden, die Einfluss auf die posturale Kontrolle nehmen.

2.1.2 Gleichgewicht im Alter – Einfluss auf die Posturale Kontrolle

Das Gleichgewicht hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Generell kommt es im Alterungsprozess zu einem Rückgang der Gleichgewichtsfähigkeit. Allerdings hängt dies sehr stark von dem Grad der körperlichen Aktivität oder dem Vorliegen von Erkrankungen ab. Eine Erklärung für den Rückgang der Gleichgewichtsfähigkeit liegt im Nachlassen der Nervenleitgeschwindigkeit (22).

Untersuchungen mit einem Posturographen haben gezeigt, dass mit zunehmendem Alter die Schwankungsweite zunimmt, das heißt die Auslenkung des Körpers von seinem Körperschwerpunkt im Stand (23, 24). Einige Studien stellten fest, dass bei älteren Menschen besonders die mediolateralen gegenüber der anterior-posterioren Schwankungen ausgeprägter sind (3, 21, 25, 26). Betrachtet man die Gleichgewichtsreaktion von jüngeren im Vergleich zu älteren Menschen, erkennt man unterschiedliche Bewegungsstrategien. Jüngere Menschen neigen eher dazu, eine Störung des Gleichgewichtes mit der Fußgelenksstrategie auszugleichen. Hierbei kommt es zu einer Muskelaktivierung um das Fußgelenk, die sich nach kranial fortsetzt. Eine gute Fußbeweglichkeit ist hierfür eine Voraussetzung. Ältere Menschen hingegen versuchen, eine Gleichgewichtsreaktion eher durch zwei andere Strategien zu kompensieren. Bei ausreichender Hüftbeweglichkeit und -muskelkraft kommt es zu einer Muskelaktivierung im Hüftgelenksbereich (Hüftgelenksstrategie). Hierfür müssen sich der Oberkörper und der untere Körper in gegensätzliche Richtungen bewegen. Ist die Störung des Gleichgewichtes so groß, dass der Körperschwerpunkt die Grenzen der Unterstützungsfläche überschreitet, muss diese durch einen Schritt vergrößert werden (Schrittstrategie). Dies gelingt aber nur bei genügend Muskel- sowie Schnellkraft in den Beinen und einer kurzen Reaktionszeit, die es ermöglicht, den Fuß zum Ab-

fangen schnell nach vorne setzen zu können (21). Kann keine der Strategien eingesetzt werden, kommt es zum Stolpern, im schlimmsten Fall zum Sturz.

Die Verschlechterung der Gleichgewichtsfähigkeit hat auch einen entscheidenden Einfluss auf den unsicheren Gang älterer Menschen. Veränderungen im zentralen und peripheren Nervensystem tragen zur Gangunsicherheit und letztlich zum Sturzrisiko bei (siehe Abbildung 3). Einen bedeutsamen Aspekt bildet die Ganggeschwindigkeit. Dabei bleibt die Schrittfrequenz im Allgemeinen gleich, rückläufig ist jedoch die Schrittlänge. Sinkt die Ganggeschwindigkeit auf unter 0,5 m/sec muss von einer begleitenden Erkrankung ausgegangen werden (27). Auch die Schrittvariabilität, die unregelmäßige Schrittfolge, spielt eine bedeutende Rolle. Personen mit einer höheren Schritt-zu-Schritt-Variabilität haben ein höheres Sturzrisiko als Personen mit einer geringeren Variabilität (28). Weitere Veränderungen nennen Hessert et al. (29) und Tideiksaar (30):

- längere Doppelstandphasen
- verringerte Kadenz
- verringerte Gelenkexkursion vor allem im Sprunggelenk
- verringertes Abrollen des Fußes (flaches Aufsetzen)
- vorgebeugte Rumpfhaltung
- verringertes Mitschwingen der Arme

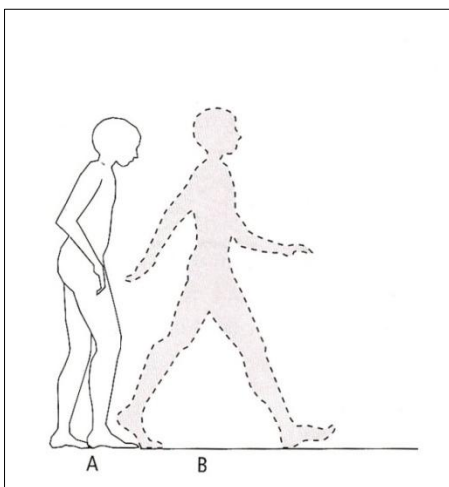


Abbildung 3: Vergleich zwischen dem Gang eines alten Menschen (A) und dem eines jüngeren Menschen (B) (30)

Diese altersbedingten Veränderungen im Gang verstärken sich bei sturzgefährdeten Personen, die *dual-tasking*-Aufgaben ausgesetzt sind. Man spricht auch von dem Phänomen *stops walking when talking*. Dies erklärt sich durch die notwendige vermehrte Aufmerksamkeit auf den Gangablauf, die bei motorischen oder kognitiven Zusatzaufgaben zu einer Überbelastung führt (24, 30-32).

2.1.3 Sehvermögen im Alter – Einfluss auf die Posturale Kontrolle

Ein intaktes Sehvermögen bildet eine wichtige Grundvoraussetzung zur Stabilisation des Gleichgewichts und ist wesentlicher Bestandteil der posturalen Kontrolle. Es liefert wichtige Informationen über die Lage des Körpers in seiner Umwelt (30, 33, 34). Das Alter führt zu einer Vielzahl an Veränderungen des visuellen Systems, die mit einer Verminderung der allgemeinen Sehstärke und der Wahrnehmung einhergeht. Bei vielen Senioren entsteht eine sogenannte Altersweitsichtigkeit. Darüber hinaus nimmt die Fähigkeit des Auges zur Anpassung an wechselnde Lichtverhältnisse ab. Besonders der Wechsel von Hell zu Dunkel, z. B. in schlecht beleuchteten Räumen, begünstigt eine Beeinträchtigung des Sehvermögens und kann zu einer vorübergehenden Blindheit führen (30). Ein dritter Aspekt ergibt sich aus einer reduzierten Tiefenwahrnehmung und einem verminderten Kontrastsehen (33, 34). Durch die Leistung des Kontrastsehens können Gegenstände voneinander unterschieden werden. Bei einer Schwächung können Fehlbeurteilungen von Situationen entstehen, die bspw. Stolperfallen nicht erkennen lassen. Boer et al. zeigten weiterhin, dass Menschen mit eingeschränkter Sehfähigkeit nicht nur ein erhöhtes Sturzrisiko, sondern als Folge eines Sturzes ein zusätzlich erhöhtes Verletzungsrisiko haben (35).

2.1.4 Zentrales Nervensystem und Kognition im Alter – Einfluss auf die Posturale Kontrolle

Der Alterungsprozess des zentralen Nervensystems ist gekennzeichnet durch eine Abnahme der Nervenzellen, durch eine verringerte Durchblutung des Gehirns und dadurch schlechtere Sauerstoffaufnahme, durch Einlagerung von Stoffwechselendprodukten in den Hirnzellen, durch Abnahme der Synapsen und durch eine Verminderung der Nervenleitgeschwindigkeit (22, 36). Die Veränderungen bergen das Risiko einer Verschlechterung der Kognition wie auch Reaktionsfähigkeit. Dadurch können die Informationen aus der Umwelt nicht schnell genug verarbeitet werden und es kann dem zufolge nicht ausreichend zügig auf sich verändernde Faktoren reagiert

werden (32, 36). Eine Untersuchung von Cao und Mitarbeitern zeigte an 20 Probanden eine reduzierte Fähigkeit, sich auf Zuruf abrupt umzudrehen zu können und dabei eine gute Haltungsstabilität beizubehalten. Frauen zeigten bei dieser Untersuchung eine stärkere Beeinträchtigung als Männer (37). Eine nachlassende Kognition hat Auswirkungen auf die posturale Kontrolle. So zeigt sich, wenn Bewegungen gleichzeitig mit einer kognitiven Aufgabe durchgeführt werden, eine Veränderung in der muskulären Aktivität, dem Gleichgewicht und der Bewegungssicherheit. Dies wird als *Dual-Task-Paradigma* bezeichnet (31, 32, 38). Rankin und Mitarbeiter fanden heraus, dass beim Ausführen von Mehrfachaufgaben, wobei sowohl die Kognition als auch die Motorik gefordert wird (Rechenaufgabe während Bewegung), die Muskelaktivität bei älteren Menschen signifikant mehr nachlässt als bei jüngeren Menschen. Sie schlussfolgern daraus, dass eine Aufmerksamkeitslenkung auf verschiedene Aufgaben gleichzeitig auf Kosten der Gleichgewichtskontrolle geht (39). Das Review von Beauchet und Mitarbeitern bestätigt dieses Ergebnis (38). Krankhaft kognitive Einschränkungen wie bei den demenziellen Erkrankungen erhöhen das Sturzrisiko um das Achtfache im Vergleich zu gleichaltrigen Gesunden. Grund dafür könnte sein, dass Personen mit einer Demenz Hindernisse nicht als solche wahrnehmen (Treppeinstufe) oder gefährliche Situationen (überqueren einer befahrenen Straße) nicht mehr als solche verarbeiten (40).

2.1.5 Bewegungssystem im Alter – Einfluss auf die Posturale Kontrolle

Die Einflüsse der Alterung auf das Bewegungssystem sind vielfältig. Im Alter von etwa 35 Jahren hat der Mensch den Maximalwert der Knochenmineraldichte erreicht (*peak bone mass* von 100 %). Danach sinkt die Knochendichte linear um ein Prozent pro Jahr. Diese Reduzierung wird einerseits durch die Genetik andererseits durch hormonelle Einflüsse, körperliche Aktivität und Nahrungsgewohnheiten mit beeinflusst. Gerät der physiologische Prozess von Auf- und Abbau des Knochens in ein Ungleichgewicht hin zu einem vermehrten Knochenabbau, entsteht die Gefahr einer Osteopenie oder Osteoporose mit erhöhter Frakturneigung und Verformungen an der Wirbelsäule (bspw.: Keilwirbel).

Zur Gefahr der Bildung einer sogenannten Alterskyphose trägt auch die Veränderung an den Bandscheiben bei. Bedingt durch eine langanhaltende Fehlbelastung bei Haltungsschwächen und einseitigen Belastungen, kommt es hier zu Verformungen und Abnutzungserscheinungen. Zudem zieht der Alterungsprozess einen Flüssigkeitsver-

lust nach sich, der für die Bandscheiben einen Verlust ihrer Beweglichkeit und druckverteilenden Funktion bedeutet.

Veränderungsprozesse mit Einschränkungen der Beweglichkeit und Funktionalität vollziehen sich auch an den Gelenken. Mangelnde Flüssigkeit im Gelenkspalt oder Knorpelschäden in Folge von Überlastungen oder Verletzungen führen zur Degeneration des Gelenkknorpels mit der möglichen Folge einer Arthrose und letztlich zur Verknöcherung des Gelenkes.

Diese hier genannten Veränderungen am Bewegungssystem gehen häufig mit Schmerzen einher. Daraus entwickelt sich ein Teufelskreislauf aus schmerzbedingter Inaktivität, Muskelabbau, verminderter Haltungsverstabilität, erneuten Haltungsveränderungen des Bewegungssystems und daraus resultierend erneuten Schmerzen.

Der Alterungsprozess ist auch durch strukturelle Veränderungen im neuromuskulären System geprägt. Ab dem 65. Lebensjahr reduziert sich die Maximalkraftfähigkeit um ein bis zwei Prozent, die Schnellkraft hingegen um drei bis vier Prozent pro Jahr (22). Abbildung 4 gibt einen Überblick über die altersbedingten Veränderungen im sensomotorischen System. In erster Linie beruht dies auf einem Untergang der großen Alpha-Motoneurone. Dies führt wiederum zur Denervation und damit Atrophie von Typ-II-Skelettmuskelfasern und damit zu einer Verschlechterung der sensomotorischen Koordination (22, 36). Durch eine fehlerhafte Einstellung des supraspinalen Zentrums sind ältere Menschen nicht mehr in der Lage, die inhibitorischen Ia-Interneurone so einzustellen und zu regulieren, dass die Aktivität des Antagonisten unterdrückt wird. Dadurch kommt es zu einer Koaktivierung gelenksumgebender Muskeln bei willkürlichen Bewegungen, was sich in einer Gelenksteifheit zeigt (22, 36). Krafteinbußen entstehen auch in Folge von Reduktion der Muskelmasse (vgl. dazu Sarkopenie und Frailty-Konzept aus (41, 42)). Mit zunehmendem Alter beschleunigt sich die Demyelinisierung und äußert sich primär in der Reduktion der Leitungsgeschwindigkeit von Nervenzellen. Die Nervenleitgeschwindigkeit nimmt im Alter um bis zu 20 % ab. Hauptursache dafür ist vermutlich die Desensibilisierung der Muskelspindel durch eine Verdickung der umgebenden Bindegewebskapsel (22).

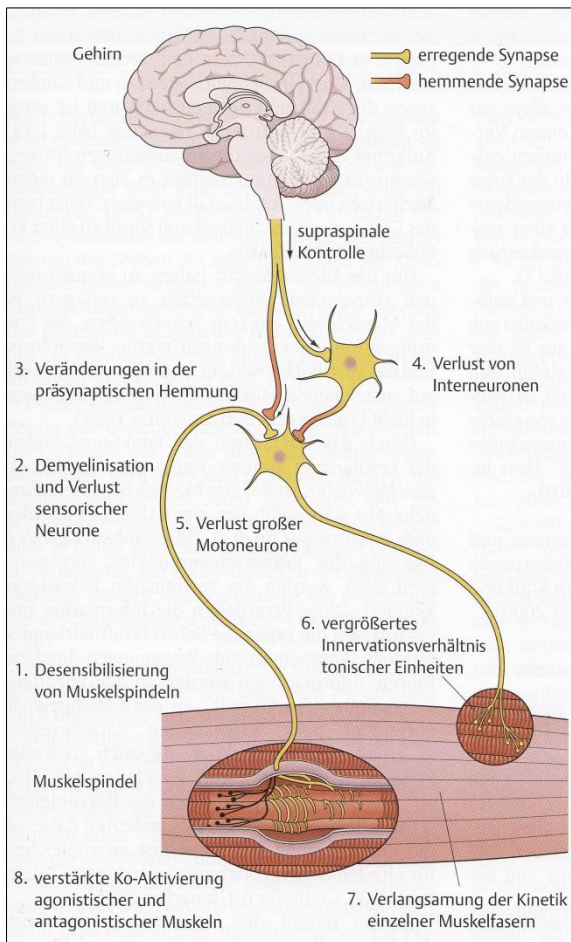


Abbildung 4: Altersbedingte Veränderungen im sensomotorischen System (22)

Funktionseinbußen der Muskulatur des Bewegungssystems erhöhen das Sturzrisiko eines älteren Menschen. Ein gutes dynamisches Zusammenwirken des Nerv-Muskelsystems führt zur posturalen Kontrolle. Laut einer Untersuchung von Lord et al. ist die Aktivität und Kraft des M. quadrizeps femoris gemeinsam mit visuellen Funktionen ein wichtiger Bestandteil zur Kontrolle des posturalen Schwankens (33). Lin et al. beschreiben zudem, dass ältere instabile Menschen im Vergleich zu älteren stabilen und jüngeren Menschen eine Muskelschwäche im M. tibialis anterior sowie Defizite in der funktionalen Balance aufwiesen (43). Den positiven Einfluss der Kraft der Unterschenkelmuskulatur auf das Gleichgewicht bestätigt die Untersuchung von Karinkanta und Mitarbeitern, die herausfanden, je höher die Muskelkraft insbesondere der unteren Extremitäten, desto besser die Balance (44).

2.2 Osteoporose

Anfang der 90er Jahre wurde die Osteoporose von der *World Health Organization* (WHO) als systemische Skelettkrankheit mit krankhaft erhöhter Knochenbrüchigkeit definiert. Als ursächlich galt eine erniedrigte Knochendichte durch vorangegangenen übermäßigen Knochenmasseverlust mit zunehmender Zerstörung der Mikroarchitektur (45). Auf Basis der Knochendichtemessung mittels *Dual-Energy-X-ray-Absorptiometry* (DXA) wurde eine Knochendichteminderung im Sinne einer Osteopenie bei einem gemessener T-Wert zwischen 1,0 und 2,5 Standardabweichungen unterhalb des statistischen Mittelwerts gesunder prämenopausaler Frauen festgelegt. Bei Unterschreiten der 2,5 Standardabweichungen wurde der Befund als messtechnische Osteoporose, bei zusätzlichem Vorliegen einer oder mehrerer Frakturen als manifeste Osteoporose definiert.

In den aktuellen Leitlinien des Dachverbandes der deutschsprachigen wissenschaftlichen Fachgesellschaften für Osteologie (DVO) e.V. von 2009 wird das Krankheitsbild der Osteoporose in den klinischen Gesamtkontext gerückt. Die Verminderung der Knochendichte stellt laut DVO einen relativen Risikofaktor für Knochenbrüche dar. Der gemessene T-Wert ist demnach wesentlich mitverantwortlich für die relative Höhe des Frakturrisikos. Ursache für das erhöhte Frakturrisiko ist u.a. die abnehmende Knochenmasse, die sich in einem Abbau der Knochensubstanz aber auch der mikroarchitektonischen Knochenstruktur zeigt. Zur Bewertung des Frakturrisikos gehört aber nicht alleine die erniedrigte Knochendichte. Faktoren wie das Lebensalter und Geschlecht, Vorerkrankungen, die Einnahme knochenschädigender Medikamente sowie erbliche Vorbelastung und Sturzgefährdung zählen ebenso dazu (46). Diese Einschätzung ist für die ärztliche Entscheidung der gezielten Medikation entscheidend. Gemessen wird die Knochendichte mit dem DXA-Verfahren an der Lendenwirbelsäule (Mittelwert der beurteilbaren Wirbel L1-L4), am Gesamtfemur und am Femurhals (Einzelmessung oder Mittelwert aus Femur links und rechts). Für die Abschätzung des 10-Jahres-Frakturrisikos ist der niedrigste Wert von Lendenwirbelsäule, Femurhals und Gesamtfemur ausschlaggebend. Die Osteodensitometrie gehört neben der Erhebung der Anamnese und des klinischen Befundes sowie der Erfassung von möglichen Wirbelkörperfrakturen und der gezielten Laboruntersuchung zur Basisdiagnostik der Osteoporose (11).

Es gibt die primären Formen der Osteoporose mit ursächlicher Pathologie im Knochenstoffwechsel selbst, zu denen u.a. die postmenopausale Osteoporose als häu-

figste Form gehört. Die postmenopausale (Typ 1-) Osteoporose tritt bei Frauen ab dem 50. Lebensjahr auf. Sie geht stufenlos in die Involutions- oder Alters-Osteoporose (Typ 2-Osteoporose) über. Verantwortlich für beide Osteoporoseformen sind vor allem die sinkenden Spiegel der wichtigen Sexualhormone Östrogen und Testosteron und die damit fehlende stimulierende Wirkung auf den Knochenaufbau sowie die fehlende inhibierende Wirkung dieser Hormone auf die Osteoklastenaktivität. Als Ursachen für die Entstehung einer sekundären Osteoporose finden sich sowohl endokrine Störungen, u.a. der Hyperparathyreoidismus, als auch gastrointestinale Erkrankungen, u.a. die chronisch entzündliche Darmerkrankungen und auch medikamentöse Nebenwirkungen oder eine längere Immobilisation (18).

Für das Jahr 2009 lag die ermittelte Prävalenz für über 50-jährige Frauen bei 24 % und für über 50-jährige Männer bei 6 %. Hochgerechnet auf Deutschland ergeben sich 6,3 Mio. Betroffene im Jahr 2009, davon 5,2 Mio. Frauen und 1,1 Mio. Männer (47). Eine manifeste Osteoporose ist definiert durch den verminderten Knochenmineralgehalt sowie dem Vorliegen von einer bis drei osteoporosebedingter Frakturen. Es wird vermutet, dass aktuell 20-30 % der über 60-jährigen Frauen an einer manifesten Osteoporose leiden. Mit zunehmendem Lebensalter steigt der Anteil der Osteoporose-Erkrankten. Jenseits des 75. Lebensjahres liegt er augenblicklich bei ca. 60 % (48). Jährlich erleidet 1 % der 65-Jährigen und Älteren eine Oberschenkelhalsfraktur. Ab dem 75. Lebensjahr steigt diese Zahl exponentiell an. In den meisten Fällen ist der Sturz auf die Hüfte die Ursache (7, 8).

Osteoporose verursacht über lange Zeit keine Beschwerden. Erst in fortgeschrittenen Stadien macht sie sich durch Frakturen bemerkbar, die sich durch Bagateltraumen oder im Zusammenhang alltäglicher Belastungen ereignen können. Aufgrund der älter werdenden Bevölkerung wird die Erkrankung in den kommenden Jahrzehnten demnach an Brisanz zunehmen. Für Betroffene bedeutet die Diagnosestellung der Osteoporose ein Bewusstwerden der eigenen Alterung, Verunsicherung über die eigene körperliche Leistungsgrenze, dauerhafte Medikamenteneinnahme, oftmals chronische Schmerzen und häufige Krankenhausaufenthalte bedingt durch Knochenbrüche (49). Einbußen an Lebensqualität, der Verlust der Selbstständigkeit bis hin zur Invalidität mit Pflegebedürftigkeit können die Folgen sein. Der Mortalitätsanstieg ist im ersten Jahr nach einer Fraktur am höchsten (7, 50-52). Entsteht eine Folgefraktur steigt die fünf-Jahres-Mortalitätsrate auf das Drei- bis Vierfache an (53).

2.2.1 Einfluss der Osteoporose auf die Wirbelsäule

Die Klinik der Osteoporose ist durch Frakturen und ihre Sekundärfolgen geprägt. Hauptmanifestationsorte dieser Frakturen sind der Oberschenkelhals und die Wirbelsäule (Sinterfrakturen). Im Jahre 2005 entfielen in den USA 27% der Gesamtfrakturnrate auf vertebrale Frakturen (54). Eine singuläre Wirbelkörperfrakturen ersten Grades nach Genant (20–25 % Höhenminderung) ist mit einem 1,5–2-fach erhöhten Risiko für osteoporotische Folgefrakturen verbunden. Zwei oder mehr Wirbelkörperfrakturen ersten Grades bzw. eine oder mehrere Frakturen zweiten oder dritten Grades nach Genant (25–40 % bzw. > 40 % Höhenminderung) sind ein sehr starker Risikofaktor für weitere osteoporotische Frakturen (relatives Risiko von 2-fach bis > 10-fach erhöht) (55). Die Dunkelziffer von Wirbelkörperfrakturen ist schätzungsweise noch höher, da viele Sinterfrakturen trotz hervorgerufener Schmerzen von Betroffenen nicht als solche identifiziert und demzufolge angemessen therapiert werden können. Es besteht die Gefahr, dass aus akuten dann chronische Schmerzen werden, die die Lebensqualität der Betroffenen erheblich einschränken können. Unerkannte Wirbelkörperfrakturen erhöhen zudem das Risiko der Knochendeformationen, die sich in Form von Fischwirbeln oder Keilwirbeln zeigen. Dies kann nicht nur zu Instabilitäten, sondern nicht zuletzt zu erheblichen Statikveränderungen in Richtung Totalkyphose an der gesamten Wirbelsäule führen (siehe Bild 1).



Bild 1: Typische osteoporosebedingte Veränderungen an der Wirbelsäulenstatik (1)

Als ursächlich werden für eine Hyperkyphose multiple Wirbelkörperbrüche und/oder Muskelschwächen angenommen (56-60). Ist die Lendenwirbelsäule genügend beweglich, entsteht zunächst kompensatorisch eine vergrößerte Lendenlordose und somit ein Hohl-Rundrücken. Liegen die Wirbelkörperfrakturen und damit verbundene

Minderbeweglichkeiten im thorakolumbalen Bereich, bildet sich das klinische Bild der tiefen Kyphose mit einer kompensatorisch verminderten Kyphose der oberen Brustwirbelsäule aus. Wird dem Rundrücken therapeutisch nicht entgegen gesteuert und entfällt die Kompensation durch die Lendenwirbelsäule, bildet sich die für die Osteoporose typische Totalkyphose mit einer erhöhten Inklination, der Verlagerung des Körperschwerpunktes nach ventral (59, 61). Durch den Totalrundrücken wird die autochthone Rückenmuskulatur überdehnt. Mit zunehmender Dehnung eines Muskels wird auf mikroskopischer Ebene der Überlappungsgrad der Aktin- und Myosinfilamente und damit die Zahl der maximal möglichen krafterzeugenden Querbrücken vermindert. Somit begünstigt ein Rundrücken eine zunehmende Schwäche der Rückenstreckmuskulatur (62). Abbildung 5, entnommen aus der Untersuchung von Imagama und Kollegen, beschreibt sehr anschaulich, warum es im Alter zu einer Statikveränderung mit Inklinationshaltung und Kyphosierung der Brustwirbelsäule kommen kann (59). Die Autoren bezeichnen das Verhältnis zwischen der Brust- und Lendenwirbelsäulenkyphose als *T/L ratio*, das bei jüngeren Menschen mit einer altersgemäßen normalen Wirbelsäulenbeweglichkeit ≤ 1 bleibt, da die normal bewegliche Brustwirbelsäule eine Hyper- oder Hypolordose der Lendenwirbelsäule mit einer sagittalen Ausrichtung kompensieren kann. Dadurch entsteht entweder ein Flachrücken oder Hohl-Rundrücken. Wohingegen bei älteren Menschen mit einer hypomobilen Wirbelsäule, geschwächten Rückenmuskeln und einer Tendenz zur Lendenwirbelsäule Entlordosierung die hypomobile Brustwirbelsäule nach anterior ausweichen muss und somit eine vermehrte Kyphose mit Inklinationshaltung entsteht.

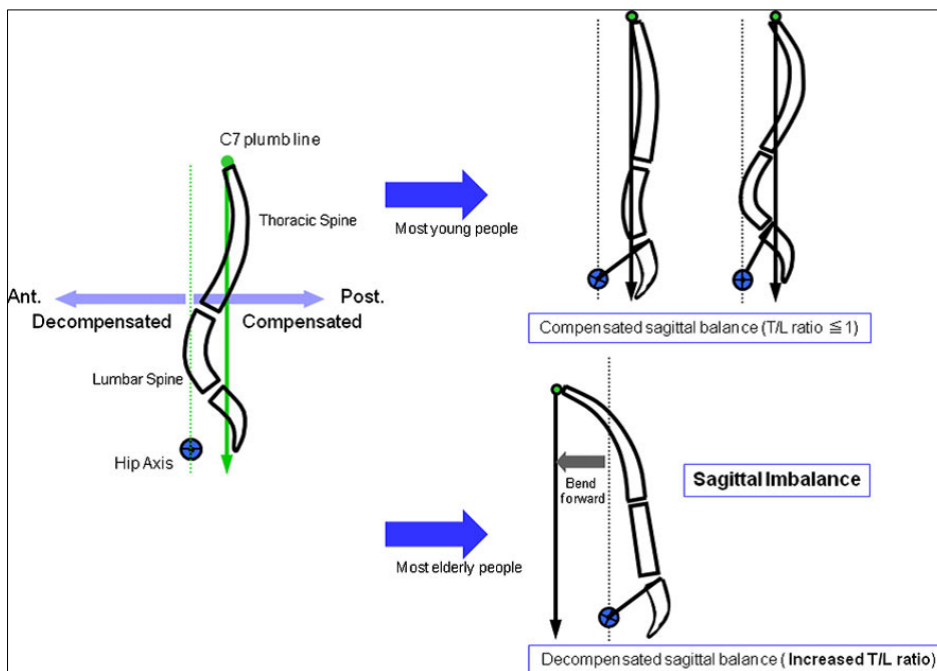


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen dem Brust- und Lendenwirbelsäulen-Verhältnis und einer dekompenzierten sagittalen Balance (59)

Wurden bei einem Patienten eine oder mehrere osteoporosebedingte Wirbelkörperfrakturen nachgewiesen, empfehlen die DVO-Leitlinien neben einer medikamentösen Schmerztherapie schnellstmögliche eine Mobilisierung zur Vermeidung von Folgekomplikationen. Unterstützend kann gegebenenfalls die Wirbelsäule von extern mit einer Orthese stabilisiert werden. Weiter soll eine stationäre oder auch ambulante Rehabilitationsmaßnahme erfolgen, bestehend aus kräftigenden und aufrichtenden Maßnahmen durch eine gezielte Physiotherapie inklusive physikalischer Maßnahmen (u.a. Interferenzstrom) (11). Wenn eine mindestens dreiwöchige multimodale konservative Schmerztherapie nicht erfolgreich war, degenerative Wirbelsäulenveränderungen als Beschwerdeursache ausgeschlossen werden konnten und eine interdisziplinäre gutachterliche Einzelfalldiskussion die Entscheidung bestätigt, empfehlen die aktuellen Leitlinien der DVO den Einsatz der Ballon-Kyphoplastie oder Vertebroplastie als minimalinvasive operative Maßnahmen (11). Auf Grundlage randomisierter Studien ist jedoch ein über eine Scheinoperation hinausgehender analgetische Effekt durch eine Vertebroplastie und vermutlich auch Kyphoplastie fraglich (E186 aus 11). Dazu postuliert die Leitlinie 2009, dass derzeit nicht belegt sei, ob mögliche Veränderungen der Biomechanik nach einer Kypho-/ Vertebroplastie eine klinische Relevanz besitzen und ob eine erhöhte Folgefrakturrate bestehe (E158-E170 aus 11).

2.2.2 Osteoporose- und Frakturprophylaxe

Zu einer Osteoporose- und Frakturprophylaxe zählen diverse Maßnahmen, die eine Verbesserung der Knochenstabilität und/ oder Verringerung sturzbedingter Frakturen begünstigen. Darunter fällt nach einer gezielten Diagnostik zum einen eine adäquate medikamentöse Versorgung und das ausreichende Vorhandensein eines Vitamin D-Spiegels, zum anderen eine kalziumreiche ausgewogene Ernährung (11). Da die beiden aufgezählten Bereiche nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit sind, soll an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen werden. Themenbezogen wird im Folgenden die dritte wichtige Säule, der Bereich der körperlichen Aktivität in der Prophylaxe und auch Therapie von Osteoporose und Frakturen, näher betrachtet.

Die zentralen Ziele von Bewegungsprogrammen im Zusammenhang mit Osteoporose sind einerseits die Reduzierung der Sturzneigung durch Steigerung der Muskelkraft und Koordination, andererseits die Erhöhung bzw. der Erhalt der Knochenfestigkeit sowie Vermeidung von Immobilisationen. Speziell dafür ausgebildete Trainer bieten in Osteoporose-Selbsthilfegruppen (bspw. Bundesselbsthilfeverband für Osteoporose e.V.), Turnvereinen oder auch Physiotherapieeinrichtungen Osteoporose-Gymnastik-Gruppen an. Tabelle 1, entnommen aus der Leitlinie zur Physiotherapie und Bewegungstherapie bei Osteoporose, stellt die verschiedenen Effektivitätsgrade von Bewegungstherapie auf die Knochenfestigkeit zusammen (63). Über die Effektivität des Trainings zur Sturzprophylaxe bei Patienten mit Osteoporose gibt Tabelle 9 einen Überblick (siehe Kapitel 2.5.4). Alle prophylaktischen Maßnahmen wirken rasch. Die Wirkung ist aber nur für die Zeitdauer ihrer Durchführung bewiesen. Es gibt keinen Beleg für eine persistierende Langzeitwirkung auf Stürze oder Frakturen (11, 63).

		Evidenz- grad	nachgewiesen für			
			Hüfte	LWS	Radius	Tibia
<u>Krafttraining:</u>						
Inhalt:	alle großen Muskelgruppen	mittel	✓	✓		
Intensität:	60-90% des 1 RM					
Frequenz:	mind. 2x Woche					
Dauer:	ca. 45 min.					
<u>Koordinationstraining:</u>						
Inhalt:	Tai Chi Yang Style	niedrig	✓			
Frequenz:	mind. 5x Woche					
Dauer:	ca. 45 min.					
<u>Mischprogramme:</u>						
Inhalt:	alle großen Muskelgruppen, <i>low</i> und <i>high impact</i> Elemente kombiniert mit Krafttraining	mittel bis hoch	✓	✓		✓
Intensität:	<i>low</i> und <i>high impact</i> Elemente vom 1.5-5- fachen des Körpergewichts, Krafttraining 70-80% des 1RM					
Frequenz:	mind. 2-3x Woche					
Dauer:	ca. 45 min.					
Inhalt:	alle großen Muskelgruppen, <i>weight-bearing</i> Übungen kombiniert mit <i>Walking</i> Programm	niedrig	✓			
Intensität:	bis 60% der max. Herzfrequenz					
Frequenz:	mind. 3x Woche					
Dauer:	1h <i>weight-bearing</i> Übungsprogramm, 2h Walking					

Tabelle 1: Effekt von Physiotherapie bzw. Bewegungstherapie auf die Knochenfestigkeit (63)

LWS: Lendenwirbelsäule

1 RM (one repetition maximum): Maximale Gewichtseinheit, die eine Person bei einer Wiederholung bewältigen kann

High-impact exercise: Übungen, bei denen die Füße gleichzeitig vom Boden abheben (Rennen, Sprungübungen)

Low-impact exercise: Übungen, bei denen ein Fuß immer Bodenkontakt behält (Gehen, Stepping, Treppensteigen)

Weight-bearing exercise: Eine sportliche Übung, die nur das eigene Körpergewicht bzw. die daraus resultierende Erdanziehungskraft als Widerstand nutzt (Jogging, Walking, Treppensteigen), Schwimmen und Radfahren gehören nicht dazu.

2.3 Möglichkeiten der Haltungs- und Bewegungsmessung an der Wirbelsäule

Die Möglichkeiten der Haltungs- und Bewegungsmessung an der Wirbelsäule sind vielfältig. Sie lassen sich in zwei Gruppen einteilen: die invasiven Messverfahren und nicht-invasiven Messverfahren. Abbildung 6 gibt einen Überblick über die Messverfahren und im Folgenden werden einige der Methoden vorgestellt.

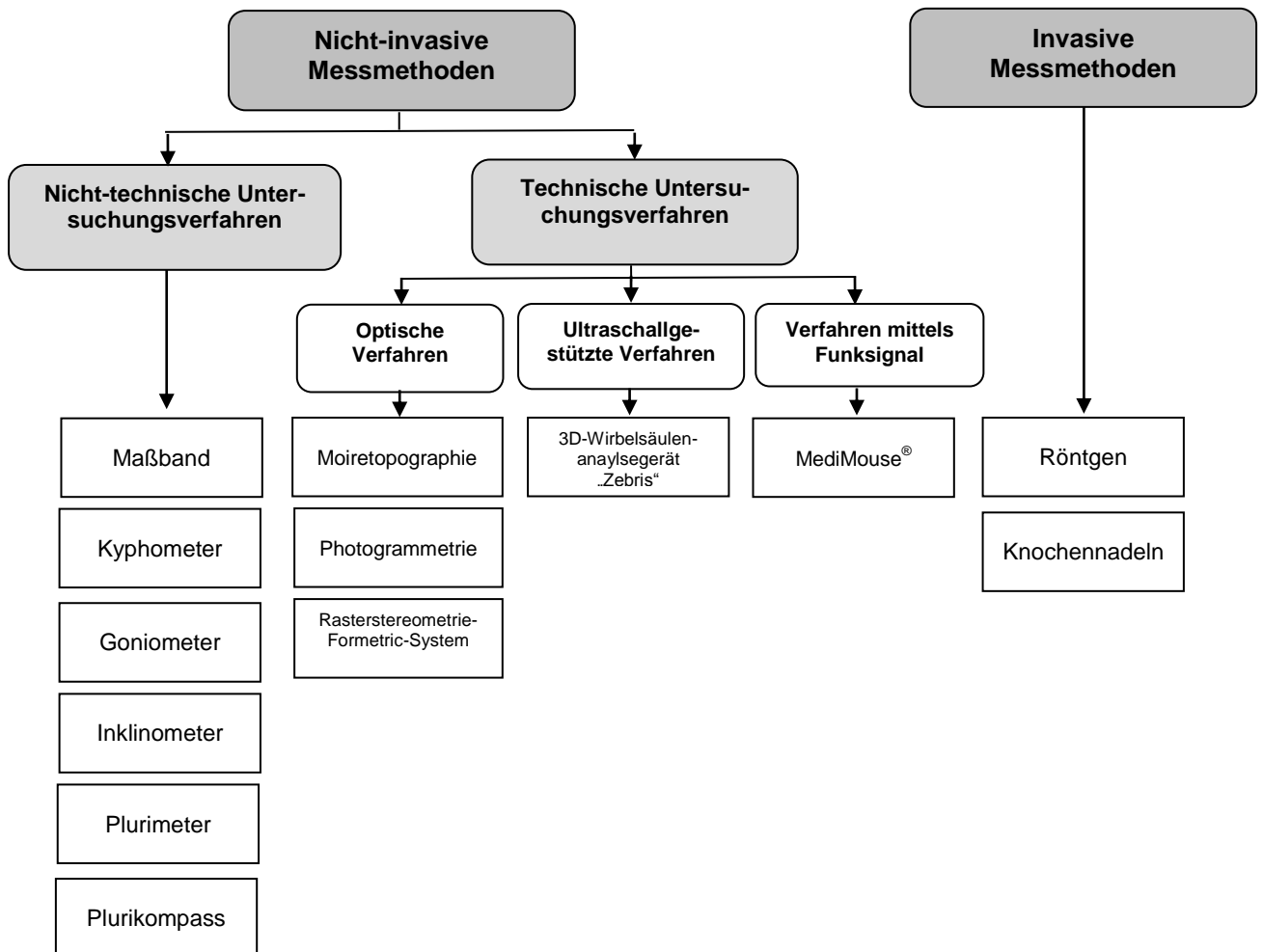


Abbildung 6: Überblick über Möglichkeiten der Haltungs- und Bewegungsmessung an der Wirbelsäule

2.3.1 Nicht-invasive Messmethoden zur Haltungs- und Bewegungsmessung an der Wirbelsäule

Um über die große Gruppe der nicht-invasiven Methoden einen Überblick zu bekommen, lohnt sich die Einteilung in die nicht-technischen und die technischen Untersuchungsverfahren.

2.3.1.1 Nicht-technische Untersuchungsverfahren

Zu den nicht-technischen Untersuchungsverfahren gehören die praktikablen und kostengünstigen Handgeräten wie Maßband, Kyphometer, Goniometer (Winkelmesser), Inklinometer (Neigungsmesser) oder auch Plurimeter. Mit dem **Maßband** werden die Messungen nach Schober und Ott durchgeführt oder der Finger-Boden-Abstand gemessen. Der Schober-Test spiegelt durch eine Erhebung der Längenzunahme bei maximaler Flexion die Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule wider. Auch bei der Ott-Testung wird die Wirbelsäulenbeweglichkeit mit einer Längenzunahme in Flexion gleichgesetzt und stellt eine Orientierung für die Beweglichkeit der Brustwirbelsäule dar (64). Bei maximaler Rumpfbeugung mit gestreckten Knien wird der Abstand zwischen den Fingerspitzen und dem Boden gemessen. Auch dies soll eine Auskunft über die Beweglichkeit der Wirbelsäule geben. Tatsächlich wird aber eher die Hüftbeweglichkeit evaluiert sowie die Dehnfähigkeit der ischiokruralen Muskulatur. Bei einer Untersuchung von Uhlemann et al. an 100 Probanden zeigten alle drei Verfahren eine gute bis exzellente Reliabilität (65).

Das **Kyphometer** nach Debrunner ist ein zirkelähnliches Gerät, das auf das zu messende Segment aufsetzt wird und den Winkelgrad der Kyphose misst. Gemessen werden kann im Stehen und in maximaler Beuge- bzw. Streckposition (siehe Abbildung 7). Über die dadurch entstehende Differenz lassen sich Rückschlüsse zur Beweglichkeit des entsprechenden Wirbelsäulenabschnittes ziehen. Die Reliabilität und Validität des Kyphometer ist hoch und zeigt vergleichbare Werte zum Cobb-Winkel (66).

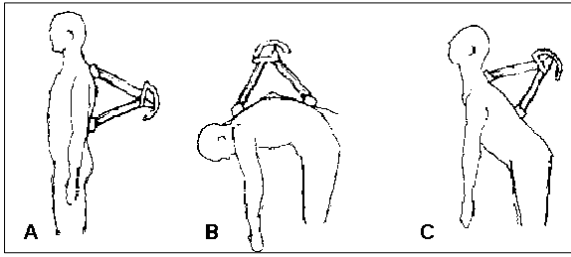


Abbildung 7: Kyphometer nach Debrunner (66)

Das **Goniometer** (Winkelmesser) ist für die Messung der Wirbelsäulenbeweglichkeit ungeeignet. Es wird eher für die Winkelbestimmung der Extremitäten verwendet oder für die Berechnung des Krümmungswinkels der Wirbelsäule anhand eines Röntgenbildes (Bestimmung des Cobb-Winkels, siehe unten).

Im Gegensatz zum Goniometer wird mit dem **Inklinometer** kein zweiter Schenkel benötigt, was die Handhabung des Gerätes und Messgenauigkeit begünstigt. Nach dem Aufsetzen des Gerätes auf die zu messende Körperpartie können Bewegungen der Extremitäten, aber auch der Wirbelsäule in Gradangaben abgelesen werden. Man unterscheidet drei Arten von Inklinometer:

- das „Bubble-Inklinometer“, bei dem ein zur Hälfte mit farbiger Flüssigkeit gefülltes Rundrohr den Winkel anzeigt (siehe Bild 2 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**a)
- Das Pendel-Inklinometer (= **Plurimeter** nach Rippstein), bei dem ein Messzeiger mit Gegengewicht den Winkel anzeigt. Das Pendel-Inklinometer ist flüssigkeitsgedämpft, um bei Lageänderung das Nachpendeln zu minimieren (siehe Bild 2 b)
- Das elektronische Inklinometer, welches den Winkel digital anzeigt oder telemetrisch überträgt (siehe Bild 2 c)

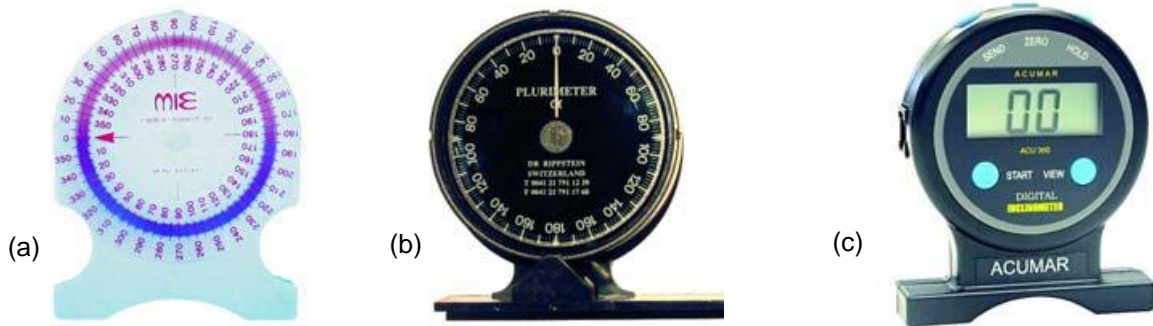


Bild 2: „Bubble-Inklinometer“ (a), Pendel-Inklinometer (Plurimeter n. Rippstein) (b), elektrisches Inklinometer (c) (84)

Für die Messung der Abduktion und Außenrotation an der Schulter mit dem Inklinometer liegt eine gute Inter-rater-Reliabilität vor mit Werten von $r = 0,83$ bzw. $r = 0,9$ vor (67). Auch die wiederholte Messung der lumbalen Beweglichkeit, gemessen von einem Untersucher, zeigte in einer Studie von Ng et al. hervorragende Messergebnisse ($r > 0,9$) (68). Eine Studie von Saur et al. verglich die Beweglichkeit von 54 Rückenschmerzpatienten gemessen mit dem Inklinometer im Vergleich zu einem funktionellen Röntgenbild. Es ergab sich eine hohe Korrelation von $r = 0,93$ (69).

Die Messung der Wirbelsäulenrotation in der Transversalebene ist auch mit dem Plurimeter möglich, kann aber nur in Bauchlage ausgeführt werden und ist dadurch einerseits umständlich, andererseits auch unfunktionell. Für eine funktionelle Messung der Wirbelsäulenrotation eignet sich demnach besser der **Plurikompass** nach Rippstein (siehe Bild 3). Hierbei handelt es sich um ein Plurimeter in Kombination mit einer Kompassnadel.



Bild 3: Plurikompass nach Rippstein (eigenes Bild)

Der Plurikompass wurde bisher in der Literatur ausgiebig nur im Zusammenhang mit dem Plurimeter- Helm (Kombination aus Inklinometer und Plurikompass) bei der Halswirbelsäulen-Beweglichkeitsmessung in allen drei Freiheitsgraden (Rotation, Lateralflexion, Extension, Flexion) verwendet und zeigte eine gute bis hervorragende intrarater-Reliabilität ($r = 0.87-0.96$) (70, 71). In wenigen Studien wird solch eine Kombination auch für die Lendenwirbelsäule verwendet. Hier nennt es sich *back range of motion* (BROM) und zeigte in Reliabilitätsstudien gute bis hervorragende intra- und intertester Reliabilität ($r = 0,89-0,98$) (72) (siehe Abbildung 8). Der BROM besteht anders als der Plurimeter-Helm aus zwei Geräten. Das eine, ein Inklinomter, misst die Extension und Flexion der Lendenwirbelsäule und das andere über eine Kombination aus Inklinomter und Plurikompass die Rotation und Lateralflexion.



Abbildung 8: Plurimeter-Helm (a), back range of motion (BROM) (b) (73)

2.3.1.2 Technische Untersuchungsverfahren

Die Gruppe der nicht-invasiven technischen Verfahren zur Haltungs- und Bewegungsmessung an der Wirbelsäule lassen sich unterteilen in optische, ultraschallgestützte und mittels Funksignal übermittelte Oberflächenanalysesysteme. Alle diese Methoden setzen einen kostspieligen und umfangreichen Einsatz eines entsprechenden Gerätes voraus.

2.3.1.2.1 Optische Verfahren

Zu den optischen Messsystemen zählt die **Moirétopographie** (vom frz. *moirer*: marmorieren), die vorwiegend in der Verlaufsdagnostik der Skoliose ihren Stellenwert hat (siehe Bild 4). Hierbei wird die Rückenoberfläche durch die Erzeugung von Interferenzmustern vermessen. Diese Interferenzmuster werden mit Hilfe eines Lichtgitters und einer Lichtquelle auf dem Rücken des Patienten erzeugt. Durch Überlagerung des Lichtes entstehen auf dem Rücken Schattenlinien, sogenannte Moiré-Streifen, die bei Gesunden symmetrisch verlaufen. Der Skoliosewinkel kann durch das Ausmessen des Musters und die Zahl der asymmetrischen Linien nur geschätzt werden (74). Zur Vermessung einer Kyphose oder der Wirbelsäulenbeweglichkeit ist die Moirétopographie nicht geeignet, da nur von sagittal und statisch gemessen werden kann.

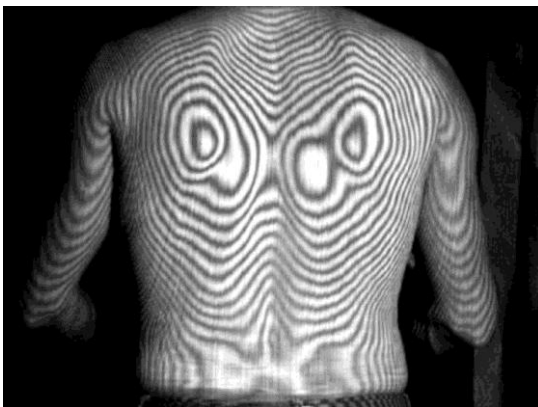


Bild 4: Moirétopographie (75)

Als weiteres Verfahren der optischen Messungen sollte noch die **Photogrammetrie** bzw. das **Rasterstereometrie-Formetric-System** erwähnt werden (siehe Bild 5). Diese Verfahren werden auch bei Luftbild- und Landvermessungen eingesetzt. Bei der Photogrammetrie zeichnen Kameras zahlreiche Bildpunkte auf einmal auf und ermöglichen durch Berechnung der Horizontal-Höhenwinkel eine 3D-Rekonstruktion. Der Rechenaufwand ist hoch, da die Rückenoberfläche sehr uneben ist (74). Zur Vereinfachung der Berechnungen werden von einem Projektor bekannte Muster wie gleichmäßige Linien auf die Rückenoberfläche projiziert (Rasterstereometrie) (74). Eine entsprechende Software wertet die gemessenen Daten aus und ermittelt so die Form der Wirbelsäule. Diese Methoden werden vorwiegend in der Verlaufsmessung der Skoliose eingesetzt und besitzen hierbei eine sehr hohe Reliabilität (75). Sie

können zwar Statikabweichungen wie Seitverbiegung, Rundrücken, Hohlkreuz, Beckenschiefstand, Lotabweichung, Oberflächenrotation messen, aber keine Beweglichkeit der Wirbelsäule.

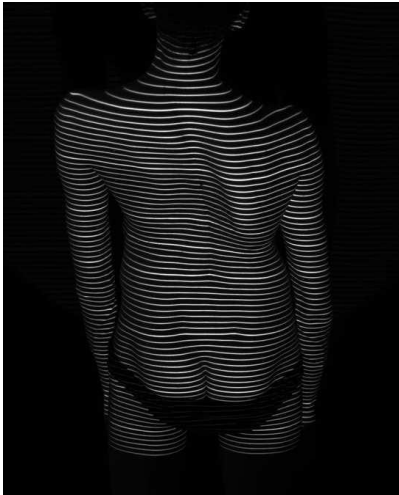


Bild 5: Rasterstereometrie-Formetric-System (75)

2.3.1.2.2 Ultraschallgestütztes Verfahren

Zu dem bekanntesten ultraschallgestützten Messverfahren der Wirbelsäulenanalyse gehört das **3D-Wirbelsäulenanalysegerät der Firma „Zebris“**, mit dem eine dreidimensionale dynamische Vermessung der Wirbelsäule durchgeführt werden kann (siehe Bild 6). Hierfür werden kleine aktive Ultraschallsender an bestimmten markanten Fixpunkten, sowie im Verlauf der Wirbelsäule, auf die Haut des Patienten geklebt. Der Patient stellt sich vor die drei mit dem Computer verbundenen Empfänger. Aus den unterschiedlichen Laufzeiten des Impulses zu den drei Empfängern kann der Ort der Schallquelle berechnet werden. Diese Ortskoordinaten werden während einer Bewegung fortlaufend mit einem Computer berechnet, grafisch dargestellt und aufgezeichnet (76). Mit dem „Zebris“-Messgerät können zwei Freiheitsgrade der Wirbelsäule bei Bewegungen in zwei Hauptbewegungsachsen (Flexion/Extension, Rechtslateralflexion/ Linkslateralflexion) gemessen werden, welche auch Aussagen zu Hypo-/Hypermobilität sowie Instabilität der Wirbelsäule gestatten.

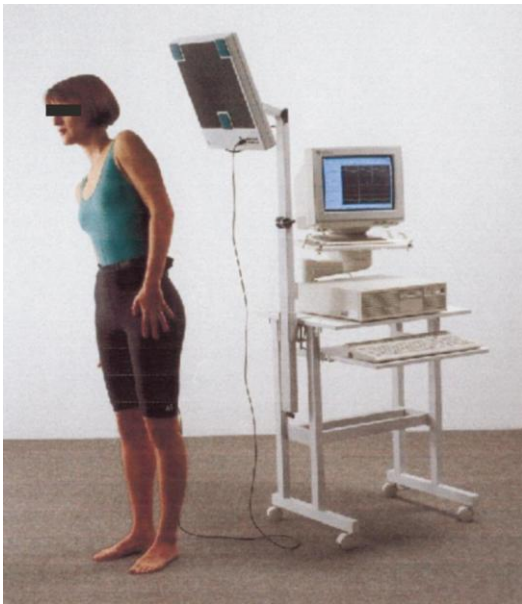


Bild 6: 3D-Wirbelsäulenanalysegerät der Firma „Zebris“ (76)

2.3.1.2.3 Verfahren mittels Funksignal

Im Jahre 2000 brachte die Schweizer Firma idiag die **MediMouse®** auf den Markt. Hierbei handelt es sich um ein manuell geführtes, handliches, strahlenfreies und nicht-invasives Gerät zur computergestützten Darstellung der Wirbelsäulenform und der Wirbelsäulenbeweglichkeit in die Extension und Flexion (siehe Bild 7 und Bild 8).



Bild 7: MediMouse® (77)



Bild 8: Ablauf der Messung mit der MediMouse® (77)

Gemessen werden kann jeweils in zwei Ausgangspositionen, im Stehen oder Sitzen. Das Gerät stellt die Wirbelsäulenform für jedes Segment der Brust- und Lendenwirbelsäule in Winkelangaben dar, kann die Inklination des Rumpfes feststellen sowie das Ausmaß der Bewegung zwischen der maximalen Beugung und Streckung. Die Ergebnisse können sowohl in Tabellenform als auch graphisch dargestellt werden (siehe Abbildung 9). Bei Bedarf lässt sich die einzelne Messung alters- und geschlechtsspezifisch im Vergleich zu Normdaten setzen. Bedingt durch die Größe des Gerätes kann nur die Brust- und Lendenwirbelsäule gemessen werden. Beim Abfahren der Wirbelsäule mit der MediMouse® wird mittels eines eingebauten Wegstreckenmessers und eines eingebauten Pendelpotentiometers ein Funksignal an einen mit dem Empfänger verbundenen Computer weitergegeben. Dieser errechnet mittels eines Algorithmus aus dem Signal Winkelgrade zur Form und Beweglichkeit der Brust- und Lendenwirbelsäule sowie für die Inklination des Rumpfes (78) (CE+DIN 3100, MPG, Quality System EN ISO 9001/EN 46001, 83/42/EEC+Annex II).

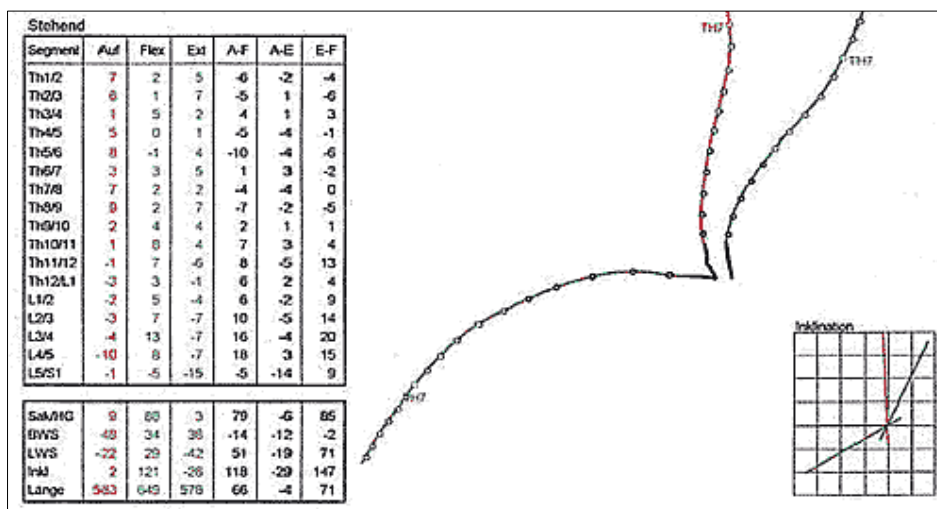


Abbildung 9: Grafische Darstellung der Wirbelsäulenstatik und -beweglichkeit (77)

Bei einer Untersuchung auf interrater Reliabilität zeigte sich an 111 vermessenen Patienten für die Inklination und die Flexion ein Korrelationskoeffizient von $r = 0,90$ und für die Extensionsbewegung $r = 0,85$ (78). Zur Validierung der MediMouse[®] wurden die Messergebnisse mit der Röntgenmethode verglichen. Zwischen beiden Verfahren zeigte sich eine enge Korrelation. Bezüglich der Haltungsmessung im Stehen ergab sich eine Korrelation von $r = 0,93$. Bei den Bewegungsmessungen zeigte sich sogar ein Zusammenhang mit einer Korrelation von $r = 0,96$ (79).

2.3.2 Invasive Messmethoden zur Haltungs- und Bewegungsmessung an der Wirbelsäule

Eine genaue Beurteilung der Lendenwirbelsäulen-anatomie und -beweglichkeit gelingt nur über invasive Messmethoden. Hierzu zählt das native Röntgen, das als Goldstandard angesehen wird oder die Röntgenuntersuchung nach Insertion von Kirschnerdrähten bzw. Steinmann-Nägeln. Als Screening werden konventionelle **Röntgenaufnahmen** von der Wirbelsäule in zwei Ebenen (anterior-posterior und lateral) angefertigt. Durch die hohe Strahlenbelastung ist jedoch der Einsatz zur Verlaufskontrolle oder auch zu wissenschaftlichen Zwecken bedenklich. Der Kyphosewinkel an Brust- und Lendenwirbelsäule kann nach der Methode von Cobb gemessen werden. Ein Kyphosewinkel von mehr als 45° gilt demnach als pathologisch (80). Um den Grad der Wirbelsäulenbeweglichkeit zu erfassen, können Funktionsaufnahmen in maximaler Flexion und in Extension aufgenommen werden.

Eine andere, lediglich für experimentelle Untersuchungen vorbehaltende, invasive Methode, Bewegungen der Wirbelkörper am lebenden Menschen zu untersuchen, sind **Knochenadeln**. Hierbei werden Kirschner-Drähte, Nägel oder Schrauben von außen in den Wirbelkörpern verankert, womit von außen Bewegungen der Wirbelkörper erfasst werden können. So können unter Laborbedingungen hoch präzise dreidimensionale Bewegungen gemessen werden (81).

2.4 Möglichkeiten der Schmerzmessung

Schmerzen sind für Betroffene ein mehrdimensionales Geschehen. Sie umfassen die körperliche, emotionale und auch verhaltensorientierte Ebene. Die Wahl der Messung hängt davon ab, welche Aspekte von Schmerz im Vordergrund stehen. Meist

liegt der Fokus auf der Schmerzintensität. Da es sich um eine rein subjektive und keine objektive Variabel handelt, besteht für eine Schmerzmessung kein Goldstandard (82)

2.4.1 Experimentelle Schmerzmessung

Bei der **experimentellen Schmerzmessung** werden zum Zwecke der Sensibilitätsprüfung Schmerzreize induziert. Ein Überblick über die gängigsten Verfahren zur Schmerzinduktion gibt Tabelle 2.

Physikalische Dimension	Methode
Mechanische Stimulation	Nadelstich
	Druck auf Muskel oder Knochen
	Quetschen von Hautfalten
	Dehnung von Viszera
Thermische Stimulation	Strahlungshitze (Infrarot, Laser)
	Kontakthitze (z. B. Heizstäbe)
	Eis- bzw. Heißwasser
Elektrische Stimulation	Transkutane Elektroden
	Intrakutane Elektroden
	Intramuskuläre Elektroden
	Dentale Elektroden
Chemische Stimulation	Kutane Anwendung von Capsaicin, Senföl etc.
	CO ₂ -Reizung der Nasenschleimhaut
	Intramuskuläre Injektion von hypertoner Kochsalzlösung
Blockade der Gewebedurchblutung	Gewebeischämie, ausgelöst durch Blutdruckmanschette am Oberarm mit oder ohne Muskelarbeit

Tabelle 2: Methoden der Schmerzinduktion (83)

Je nach Fragestellung der Diagnostik muss hier eine genaue Auswahl der Applikationsmethode gewählt werden, da jede dieser Methoden andere Systeme prüft. So stimulieren Druckreize eher tiefer liegende Nozizeptoren, die spinal verschaltet und verarbeitet werden, während Hitzereize ihre Wirkung auf die Hautrezeptoren beschränken (83).

2.4.2 Erfassung der klinischen Schmerzen

Bei den Messmethoden der klinischen Schmerzen werden Zusammenhänge zwischen Reiz und Reaktion über den gesamten Schmerzbereich gemessen. Hierbei kommen in der Schmerztherapie verschiedene Beurteilungsskalen wie die Visuelle Analogskala (VAS) (25) oder die Numerische Beurteilungsskala (NRS) zum Einsatz.

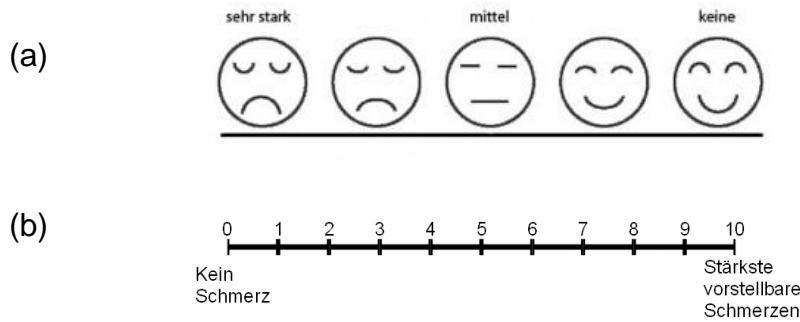


Abbildung 10: Visuelle Analogskale (a) und Numerische Analogskale (b) (84)

Wie Abbildung 10 zeigt, handelt es sich bei der VAS und NRS um im Rechenschieberformat konzipierte Skalen. Der Proband stellt mit einem Schieber seinen momentanen Schmerz ein. Bei der NRS kann so direkt seine Einschätzung als Zahlenwert abgelesen werden. Bei der VAS ist auf der Skalenrückseite, für den Patienten nicht einsehbar, der Linie entsprechend eine Skala mit den Werten von 0 (kein Schmerz) bis 10 (maximal vorstellbarer Schmerz) aufgetragen, die für statistische Auswertungen verwendet werden können. Vorteile dieser Skalen sind die einfache und schnelle Handhabung in Kombination mit guter statistischer Auswertbarkeit (85). Die Validität der Beurteilungsskalen wurde in Korrelation mit anderen Messinstrumenten gemessen. So fanden Gridley und Mitarbeiter eine gute Übereinstimmung der VAS-Werte mit dem Short Form McGill Pain Questionnaire (86). Die Reliabilität einer Schmerzmessung lässt sich schwer erfassen, da sich der Schmerz von einem Moment zum anderen ändern kann. In der Untersuchung von Bijur et al. wurden 69 Schmerzpatienten einer Notaufnahme über zwei Stunden hinweg alle 30 Minuten gebeten, im Abstand von einer Minute jeweils zweimal ihren Schmerz auf einer VAS einzuschätzen. Die Ergebnisse zeigten eine hohe intrarater Reliabilität von 0,97-0,99 (87). In der Literatur gibt es keine eindeutige Angabe darüber, wann welche Skala eingesetzt werden soll. Die VAS wird empfohlen bei Patienten mit sprachlichen Defiziten, während die NRS eher bei Patienten mit chronischen Schmerzen eingesetzt werden soll (88).

2.4.3 Erfassung emotionaler und psychosozialer Beeinträchtigung bei Schmerzen

Schmerzen sind ein multidimensionales Geschehen. Um diesem gerecht zu werden, nimmt die Messung der emotionalen Reaktionen bei Schmerzen sowie auch der psychosoziale Beeinträchtigung einen großen Stellenwert ein. Die Beurteilung dieser Dimensionen erfolgt über Fragebögen und wird in der Psychologie verwendet. Eine Auswahl der gängigsten Fragebögen ist in Tabelle 3 aufgeführt. Hierbei handelt es sich um international anerkannte valide Tests, die überwiegend bei chronischen Schmerzen eingesetzt werden.

Instrumente	Skalen
Fragebogen zur Erfassung der Schmerzverarbeitung (89, 90) Kieler Schmerzinventar (91)	Schmerzbedingte Hilflosigkeit und Depression, schmerzbedingte Angst, schmerzbedingter Ärger Angst, Depression, gereizte Stimmung, gehobene Stimmung
Allgemeine Depressionsskala (92) Beck-Depressions-Inventar (93)	Depression Depression
Hospital Anxiety and Depression Scale (94)	Depression, Angst

Tabelle 3: Erfassung emotionaler Reaktionen bei Schmerzen (83)

Um die schmerzbedingten Einschränkungen auf die Verhaltens- bzw. Handlungsebene zu erfassen, kommen Selbstbeurteilungsfragebögen zum Einsatz. Diese Instrumente, die sowohl als Fragebogen als auch als Interview verwendbar sind, fragen direkt nach bestimmten Verhaltensweisen in den letzten Wochen:

- Multidimensional Pain Inventory, deutsche Version (95),
- Funktionsfragebogen Hannover Rücken (96),
- Tübinger Bogen zum Schmerzverhalten (97)

Die Verwendung solcher Tests bedarf einer Schulung und ist im Praxisalltag bedingt durch einen zeitlichen Aufwand nicht praktikabel. Diese Messbögen finden eher Anwendung im wissenschaftlichen Bereich der Schmerzerfassung.

2.5 Sturz

„Ein Sturz ist ein Ereignis, in dessen Folge eine Person unbeabsichtigt auf dem Boden oder auf einer tieferen Ebene zu liegen kommt“ (98). Jeder Mensch stürzt im

Laufe des Lebens mehrmals aus unterschiedlichen Gründen, am häufigsten im Kleinkind- und im hohen Alter. Ein Kind stürzt zum Beispiel, weil es zu schnell gelaufen ist, die Geschwindigkeit nicht mehr kontrollieren kann und seine Grenzen erproben möchte. Alte Menschen stürzen, weil sich bei ihnen durch altersbedingte Funktionseinschränkungen und eventuelle Krankheiten das Bewegungsverhalten verändert hat. Es geht nicht um die Stürze, die bei besonderen Balanceakten passieren (z. B. Kirschen pflücken, über Glatteis gehen), sondern um die, die bei Alltagstätigkeiten auftreten. Tätigkeiten, die der Betroffenen schon oft ohne Stürze durchgeführt hat, wie der nächtliche Gang zur Toilette bei schwachen Lichtverhältnissen. Bei einem Sturz in einer gewöhnlichen Alltagssituation wird dem Gestürzten sowie seinem Umfeld die Verschlechterung seiner Balance- bzw. Gehfähigkeit am deutlichsten vor Augen geführt und hinterlässt einen dauerhaften Eindruck. Wohl jeder Sturz führt zu einem Schreck manchmal aber vielleicht auch zur Demütigung. Emotional gesehen ist jeder Sturz im hohen Alter ein „Nieder-Gang“, eine „Nieder-Lage“, und kann Betroffenen im wahrsten Sinne des Wortes die eigene beginnende „Hinfälligkeit“ und damit Endlichkeit vor Augen führen. Dieses Phänomen ist einem Kind, das gestürzt ist, fremd, denn es bewertet den Sturz nicht als Niederlage. Ein Sturz gehört genauso wie die Beule am Kopf in den Kinderalltag, in dem täglich etwas Neues gelernt und entdeckt wird. All dies schult die Entwicklung der Bewegungserfahrung. Bei den älteren Gestürzten hat fast ein Drittel aller Betroffenen Angst vor weiteren Stürzen. Die Angst vor dem Sturz führt zu einem Vertrauensverlust in den eigenen Körper mit Einschränkung der körperlichen Aktivität, was nicht nur weitere Stürze begünstigt, sondern auch eine soziale Isolation oder auch Depression hervorrufen kann (siehe Abbildung 14). Aus diesem Teufelskreislauf kommt der Betroffenen nur schwer selber wieder heraus.

Fast ein Drittel der Personen ab dem 65. Lebensjahr stürzen mindestens einmal im Jahr. Bei den 80-jährigen und Älteren stürzt jeder Zweite einmal jährlich (4). Auf die Bevölkerungsstruktur von Deutschland hochgerechnet ergeben sich demnach pro Jahr schätzungsweise 5 Millionen Stürze älterer Menschen (51). Abbildung 11 gibt einen optischen Eindruck über die hohe Inzidenzrate von Stürzen in der Altersgruppe 65 und älter mit steigender Tendenz im Alter von 85+. Außerdem ist zu erkennen, dass vor allem die Anzahl der Mehrfachstürze mit dem Alter ansteigt. Anzumerken ist, dass Sturzereignisse eine große Dunkelziffer aufweisen. Viele Stürze werden von Betroffenen aus Scham, Angst oder Bagatellisierung verschwiegen. In Institutionen

(Krankenhäuser, Pflegeheime) werden Stürze zwar vom Pflegepersonal systematisch erfasst, doch muss dafür das Personal den entsprechenden Sturz entweder selber beobachtet haben oder ist auf den Bericht und das Erinnerungsvermögen des Gestürzten angewiesen.

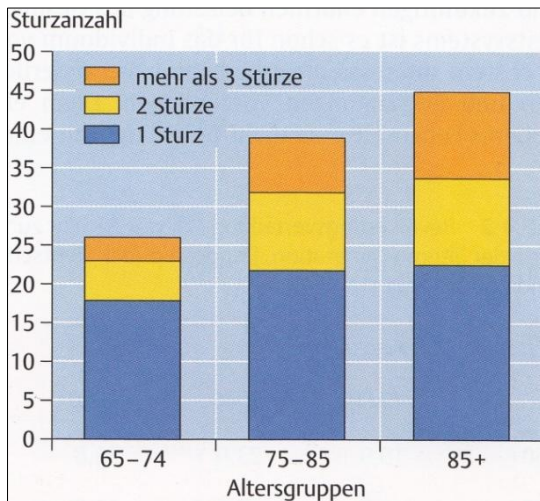


Abbildung 11: Inzidenzrate der Stürze (118)

Stürze von Kindern führen selten zu gravierenden Verletzungen, eher zu Hautabschürfungen und kleinen Hämatomen. Bei älteren Menschen sind die Folgen oftmals viel schwerwiegender und führen in ca. 5 % zu Frakturen (51). Stürze sind zu 40 % für Einweisungen in Pflegeeinrichtungen verantwortlich (6). Nach einer Hüftfraktur bedingt durch einen Sturz erreicht nur die Hälfte der Betroffenen die vorher bestandene Selbstständigkeit wieder, 17 % erleiden eine Pflegebedürftigkeit (9). Das Maß der Abhängigkeit steigt demnach enorm. Auch die Mortalität ist nach einem Sturz hoch. Bei älteren Menschen, die wegen eines Sturzes stationär behandelt werden müssen, liegt sie ein Jahr nach einem Sturz bei 50 %, bei Patienten nach einer hüftnahen Oberschenkelhalsfraktur bei bis zu einem Drittel (51).

Die Kosten der Operationen der durch Stürze verursachten Frakturen, die anschließende Rehabilitation der Betroffenen und die häufig aus einem Sturz resultierende Pflegebedürftigkeit der gestürzten älteren Menschen wird bundesweit auf mehr als 2 Milliarden Euro pro Jahr geschätzt (99). Insgesamt belaufen sich die Kosten von Stürzen zwischen 0,85-1,5 % der gesamten Gesundheitsausgaben (99).

Kinder stürzen eher nach vorne in Bewegungsrichtung. Durch ein schnelles Reaktionsvermögen fangen sie sich jedoch entweder ab oder sorgen mit einer geschickten Gewichtsverlagerung und Haltungskorrektur eher für ein sanftes Abrollen des Sturzes. Die Belastung der Knochen ist demnach viel geringer (17). Demgegenüber stürzen ältere Menschen eher nach hinten und häufig auch seitlich (25, 100-103). Da bei ihnen die Reflexe wie Ausfallschritt oder Schutzbewegung mit der Hand verlangsamt oder ausgefallen sind, prallen sie häufig stumpf auf und riskieren dadurch viel eher eine Fraktur beispielsweise an der Hüfte. Studien zum Einsatz von Hüftprotektoren bei sturzgefährdeten Bewohnern eines Pflegeheims konnten eine signifikante Reduktion von Hüftfrakturen bei gleichbleibender Sturzhäufigkeit nachweisen (104, 105).

Für ein adäquates diagnostisches und therapeutisches Vorgehen ist eine Unterteilung der Stürze sinnvoll. Es können zwei Sturztypen unterschieden werden (27):

- Synkopale Stürze
- Lokomotorische Stürze:
 - Extrinsische Stürze
 - Intrinsische Stürze

Die synkopalen Stürze sind eine direkte Folge eines Bewusstseinsverlusts, hervorgerufen durch bspw. eine Herzrhythmusstörung oder Hirndurchblutungsstörung. Bei den lokomotorischen Stürzen, die ohne pathologische Veränderung des Bewusstseins einhergehen, lassen sich zwei Typen unterscheiden. Extrinsische Stürze werden von außen ausgelöst, z. B. durch einen kräftigen Stoß, ungewöhnliche Bodenverhältnisse oder riskante Tätigkeiten. Die intrinsischen Stürze ereignen sich ohne gravierende Krafteinwirkung oder Schwerpunktverlagerung von außen. Sie werden ausgelöst von Faktoren, die im Stürzenden selbst liegen (siehe Tabelle 3).

2.5.1 Sturzmechanismen

Über die genaue Kinematik des Sturzes eines älteren Menschen gibt es in der Literatur wenig Auskunft. Ein Grund könnte sein, dass wahrscheinlich keine Ethikkommission eine Studie erlauben würde, in denen ältere Probanden zu wissenschaftlichen Zwecken unter Laborbedingungen stürzen sollen bzw. bei einem Sturz gefilmt werden. Das Risiko einer dadurch hervorgerufenen Fraktur wäre zu hoch und ethisch

nicht vertretbar. Einige Studien haben deshalb die Kinematik des Sturzes bei jüngeren gesunden Personen untersucht, einige wenige jedoch auch bei älteren.

Hsiao et al. klebten bei sechs jüngeren Probanden im Alter von 22-35 Jahren Marker auf ausgewiesene Körperpunkte (dritte Metatarsale, laterale Malleolus, laterale Epicondyle des Femur, anterior superior iliaca spina, L5/S1, Acromion, lateraler Epicondylus des Ellbogen, dorsales Handgelenk und auf den Kopf), die die Körperbewegung während des Sturzes mit sechs Kameras aufzeichneten. Die Probanden stellten sich auf eine Softmatte, die unerwartet und ruckartig in drei verschiedenen Richtungen (anterior, posterior, lateral) mit unterschiedlicher Intensität weggezogen wurde ($t = 0,0-1,05$ Sekunden). Die Probanden bekamen den Auftrag, einen Sturz zu vermeiden. Zu den Ergebnissen zählte, dass die meisten Stürze nach hinten (wenn die Matte nach anterior gezogen wurde) und in 92 % der Fälle mit einem Aufprall auf das Becken erfolgten (siehe Abbildung 12).

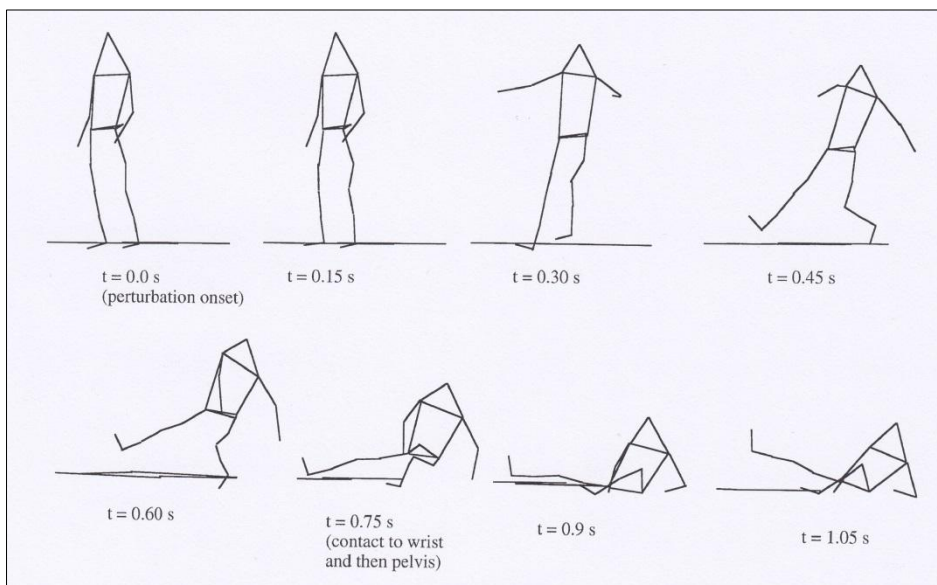


Abbildung 12: Bewegungsanalyse eines typischen Sturzes nach hinten (106)

Kam es zu einem seitlichen oder Rückwärtssturz, verhinderten die Probanden einen direkten Aufprall auf den Hüft-/Beckenbereich (Trochanter bzw. Os sacrum) interessanterweise stets durch eine Vorwärtsrotation des gesamten Körpers mit gleichzeitigem Ausstrecken des Armes (Dorsalextension des Handgelenkes). Bei den Rückwärtsstürzen kam es durchschnittlich zu einer Rotation um $16,3^\circ$, bei den beiden la-

teralen Stürzen zu einer Rotation um 62° bzw. 37° . Die Forscher vermuteten, dass dies eine unbewusste Schutzmaßnahme war, um den Untergrund, auf den man landete, besser sehen zu können und den Aufprall mit der ausgestreckten Hand oder gar beiden Händen abfedern zu können. Denn bei allen Stürzen, die mit einem Aufprall auf das Becken endeten, wurde das Handgelenk fast zur selben Zeit (sogar 38 Millisekunden vorher) auf den Boden aufgesetzt. Die Begründung für diese Strategie war, die gleichzeitige Verteilung der Aufprallenergie auf Handgelenk und Becken (106).

Bei der Untersuchung von Feldman et al. war der Versuchsaufbau ähnlich wie bei Hsiao et al., ein Unterschied war die höhere Probandenanzahl ($n = 44$), ein anderer, und dies ist entscheidend, dass keiner der Probanden wusste, was genau gemessen wird. Sie kamen alle der Reihe nach in den Versuchsraum, der mit dicken Gymnastikmatten ausgelegt war (hatten untereinander auch keinen Kontakt), wurden mit Reflektoren ausgestattet und erhielten nur die Information, dass ihr Gleichgewicht gestört wird und ihr Ziel es sei, die Balance zu halten. Damit wollten die Forscher einen unerwarteten Sturz provozieren, der im Bewegungsverhalten einem echten Sturz näher kommt. Die meisten Stürze waren im Gegensatz zur Studie von Hsiao et al. Seitstürze mit Aufprall auf das laterale Becken (98 %). Auch hierbei hatte immer zuerst das Handgelenk, dann erst das Becken Bodenkontakt. Je kürzer dieser Abstand zwischen dem Hand- und Hüft-Bodenkontakt war, desto niedriger war auch die Aufprallgeschwindigkeit auf das Becken. Nur knapp die Hälfte aller Probanden versuchten mit einem oder mehreren Seitschritten, das Gleichgewicht zu halten, nur 11 % überkreuzten dabei die Beine. Diejenigen, die eine Schrittstrategie anwendeten, verringerten dadurch signifikant die Aufprallgeschwindigkeit auf das laterale Becken. Der vertikale Rumpfwinkel während des Aufpralls auf den Boden lag bei 42° (107), was ein wesentlich größerer Winkel war als bei der Untersuchung von van den Kroonenberg et al., deren Probanden beim Aufprall einen kleineren Winkel von $21,2^\circ$ hatten. Diese Probanden stürzten allerdings während der Bewegungsanalyse aus eigenem Antrieb und wussten, dass der Untergrund ausreichend weich war (108).

Mille et al. analysierten in ihrer Untersuchung ebenfalls das Gleichgewichtsverhalten von jüngeren Personen ($n = 10$, 24 Jahre) und verglichen dies, als der Autorin als einzige bekannte Studie, mit dem von gesunden älteren Probanden ($n = 10$, 73 Jahre). Die Probanden standen jeweils auf einer weichen Matte und erfuhren über ein Seil, das im Bauchbereich befestigt war, einen ruckartigen Zug nach lateral. Zu den

Ergebnissen zählte im Gegensatz zur Feldman et al., dass die Jüngeren zum Erhalten des Gleichgewichtes fast immer nur einen einzigen Schritt brauchten, also die *loaded side step*-Strategie anwendeten. Während die Ältere häufiger mehrere Schritte und dabei häufiger überkreuzende Schritt benutzen (*unloaded crossover step*) (siehe Abbildung 13). In der statistischen Analyse zeigte sich in diesem Unterschied aber keine Signifikanz. Allerdings machten die Älteren größere und auch höhere Schritte, was die Dauer der Schrittabfolge bzw. der jeweiligen Einbeinstand-Phase verlängerte. Zudem kam es bei ihnen signifikant häufiger zu Kollisionen zwischen beiden Beinen.

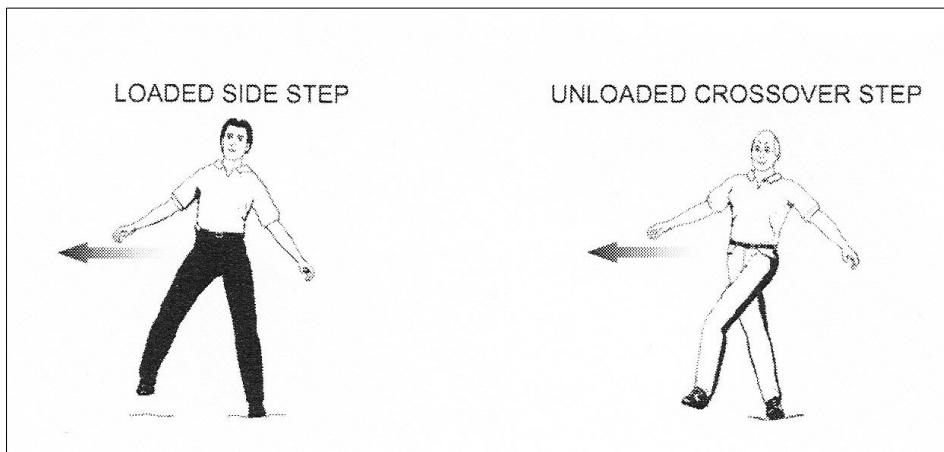


Abbildung 13: Typische Schrittstrategien von jüngeren und älteren Personen bei einer seitlichen Störung des Gleichgewichtes (101)

Eine weitere Beobachtung in dieser Studie war, dass, nachdem über den Bauchgurt ein Zug nach lateral ausgeübt wurde, die Probanden stets eine Lateralflexion im Rumpfbereich durchführten (weg von der Störung). Erst nachdem der erste Schritt gesetzt wurde, ergab sich eine entgegengesetzte Lateralflexion zurück. Bei dem einfachen Seitenschritt zeigten die älteren im Vergleich zu den jüngeren Probanden eine signifikant größere laterale Rumpfbewegung. Während bei den überkreuzenden Seitenschritten beide Gruppen eine annähernd gleich große Bewegungsamplitude zur Seite benötigten (101).

Um eine exakte Aussage über die Kinematik des Sturzes eines älteren multimorbiden Menschen machen zu können, geben Sturzanalyse von gesunden jüngeren oder auch älteren aber gesunden Personen lediglich Hinweise. Die größte Schwierigkeit

bei Sturzanalysen unter Laborbedingungen ist, dass es sich um geplante Bewegungen handelt. Die Probanden wissen, dass es um eine Sturzanalyse geht, aus welcher Richtung der Zug kommt und dass sie möglichst stabil sein sollen. Somit wird das Sturzverhalten nicht nur durch ihr Alter oder ihren guten Gesundheitszustand beeinflusst, sondern vor allem auch durch die unbewusst ablaufende Bewegungsplanung.

Der Autorin sind nur zwei Studien bekannt, die Echtzeit-Stürze von älteren, in Pflegeheim lebenden Personen erfassten und danach interpretieren konnten. Beide Untersuchungen benutzten in Pflegeheimen schon vorhandene Überwachungskameras, die eigentlich aus Sicherheitsgründen angebracht wurden. Es wurde nur in Gemeinschaftsräumen (Flur, Cafeteria, Essensraum) gefilmt und nicht in privaten Räumen (Bad, Schlafzimmer), in denen aber eigentlich sehr viel mehr Stürze geschehen (75 % im Patienten- oder Badezimmer) (109). Beide Studien kamen zu dem Schluss, dass die häufigste Ursache für einen Sturz eine fehlerhafte Gewichtsverlagerung oder Stolpern war. Am häufigsten erfolgten Stürze während des geradeaus Gehens, Hinsetzens und Stillstehens (110, 111). Bild 9 zeigt einige beispielhafte Videoausschnitte von Stürzen. In der ersten Bildersequenz stürzt eine ältere Dame mit Rollator beim Versuch einer Rückwärtsdrehung auf die Hüfte ohne Stützeinsatz der Arme. In der zweiten Bilderabfolge erkennt man einen Mann, der beim Versuch, den orangen Ball zu fangen, bei überkreuzenden Seitschritten stolpert. Die dritte Bilderreihe zeigt einen Heimbewohner, der ohne erkennbaren Grund über seine Füße stolpert und nach hinten auf das Becken und mit ausgestrecktem Arm prallt (110).



Bild 9: Videosequenzen von realen Stürzen (110)

Runge beschreibt in seinem Buch „Mobil bleiben“, dass jeder Hüftknochen unabhängig vom Alter und Gesundheitszustand bei einem ungebremsten Fall auf die laterale Hüfte brechen würde. „Stürzende entwickeln bei einem Sturz aus Standhöhe eine Fallgeschwindigkeit von 2 bis 4 Metern pro Sekunde. (...) Der übliche Aufprallort ist der große Rollhügel. (...) Haut und Weichteile über dem großen Rollhügel dämpfen den Aufprall etwas (oder bei Dicken etwas mehr), dann wirkt die Kraft, die der Körper beim Sturz entwickelt hat, auf den Knochen. Beim Sturz aus dem Stand sind es 200 bis 700 oder gar 1000 Kilopond (≈ 1000 Kilogramm), die verformend auf den Körper einwirken. Die Kraft, die vom Weichteilgewebe nicht absorbiert wird, verformt den Knochen. Ein Knochen bricht, wenn seine Länge um ungefähr 2 % verändert wird“ (112). Jüngere Menschen haben ein effektiver wirksameres Schutzreflex-System (Seitschritt, Lateralflexion, Rumpf-Rotation, Armanheben). Diese Reflexe bzw. der effektive Einsatz dieser gehen im Alter offensichtlich verloren, woraus ein erhöhtes Risiko für Stürze mit oftmals dramatischen Verletzungsfolgen resultiert.

2.5.2 Ursachen und Risikofaktoren für Stürze

Die Ursachen für Stürze sind sehr komplex und multikausal. Eine erhöhte Sturzneigung im Alter wird nicht durch einen einzelnen Faktor bedingt, sondern durch eine Summierung krankheits- und altersbedingter Funktionsverluste (10). In der Literatur wurden bisher zahlreiche Risikofaktoren für Stürze bei Älteren angegeben. Allgemein anerkannt ist, dass Muskelschwäche, Multimedikation, Gleichgewichtsstörungen o-

der auch Visusverschlechterung das Sturzrisiko erhöhen (10-12, 113). In aktuellen Sturzprophylaxe-Übungsprogrammen für ältere Menschen wird daher der Schwerpunkt fast ausschließlich auf die Verbesserung der Kraft und des Gleichgewichtes gelegt (16). Je mehr Risikofaktoren gleichzeitig vorhanden sind, desto höher ist das Risiko einer Person zu stürzen. Finden sich vier oder mehr Risikofaktoren, kann davon ausgegangen werden, dass diese Person innerhalb eines Jahres mit einer 80 %igen Wahrscheinlichkeit stürzen wird (114). Die Frage nach der Anzahl und Art der Medikamenteneinnahme beinhaltet auch die Erfassung des allgemeinen Gesundheitszustandes (Multimorbidität). Als wissenschaftlich bewiesen gilt, dass eine Multimedikation ab vier und mehr verordneten Medikamenten positiv mit Stürzen korreliert. Als spezifisch sturzfördernd fanden sich zentral wirksame Substanzen wie Benzodiazepine, Neuroleptika, Antidepressiva sowie Antikonvulsiva (115, 116).

Granacher stellte in seiner Dissertation ein Ursache-Wirkungs-Modell auf, das sehr anschaulich zeigt, wie vielfältig die Zusammenhänge einzelner Sturzrisikofaktoren sein können. Es ergibt sich ein dynamisches Bedingungsgefüge zwischen den Risikofaktoren (117) (siehe Abbildung 14).

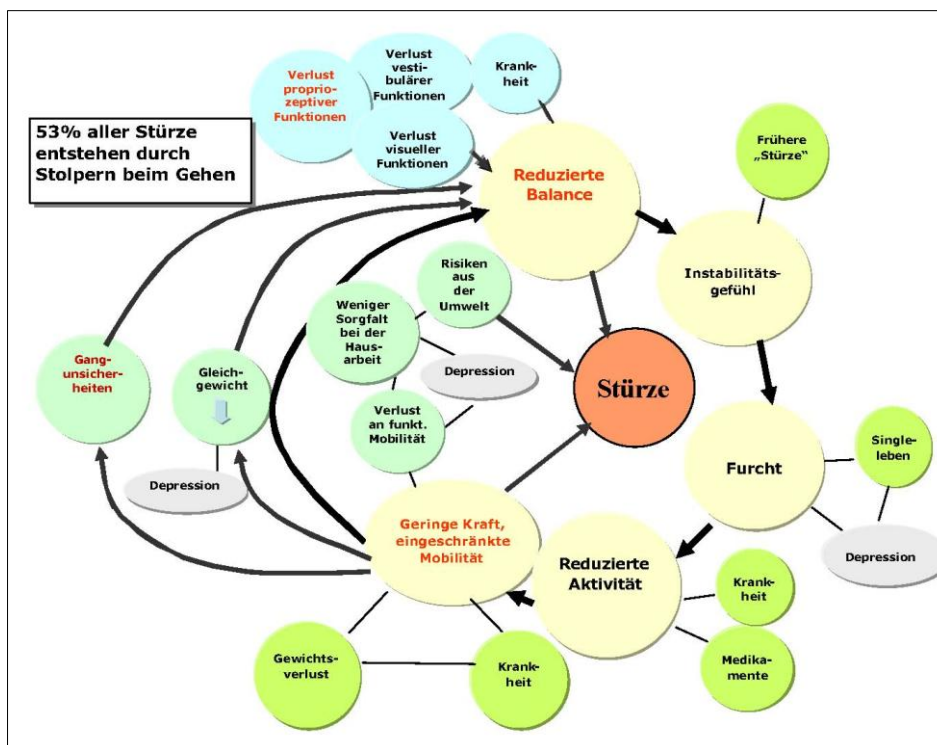


Abbildung 14: Ursache-Wirkungs-Modell von Stürzen nach Granacher (117)

Bezugnehmend auf die Einteilung der Sturztypen (synkopaler, extrinsischer und intrinsischer Sturz) lassen sich die Ursachen und Risikofaktoren für Stürze in intrinsische und extrinsische Ursachen einteilen (30, 118). Zu den extrinsischen Ursachen oder auch situativen Ursachen zählen beispielsweise unzureichende Beleuchtung, fehlende Geländer, rutschige Teppiche, Nässe oder Glatteis. Die intrinsischen Ursachen sind Faktoren, die im „Inneren“ des Menschen zu finden sind. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Einteilung der Risikofaktoren mit Beispielen.

Intrinsische Risikofaktoren	Extrinsische oder situative Risikofaktoren
Erkrankungen, die mit veränderter Mobilität, Motorik und Sensibilität einhergehen (Apoplex, M. Parkinson...)	unzureichende Beleuchtung
Muskeldefizite	fehlende Geländer (Treppe, Badewanne)
Gleichgewichtsstörungen	zu steile Treppe
Gangstörung	Stolpergefahren (Teppichkante, Haustiere unebene Gehwege)
Gebrauch von Gehhilfen	falscher Gebrauch von Gehhilfen
Gebrauch von Medikamenten und deren Nebenwirkungen (Psychopharmaka, Sedativa, Antiarrhythmika, Diuretika)	Nässe, Glatteis, Schnee, rutschige Teppiche
Schmerzen	keine Toilettensitzerhöhung
Seheinschränkungen	schlecht sitzende Kleidung , Schuhwerk
Depression	
Kognitive Einschränkung	
Alter über 80 Jahre	
Harninkontinenz	
Sturzvorgeschichte	
Sturzangst	
Inaktivität	

Tabelle 4: Einteilung der Risikofaktoren für Stürze mit Beispielen

Die *American Geriatrics Society* hat in ihren Leitlinien zur Verhütung von Stürzen die Signifikanz unterschiedlicher Risikofaktoren berechnet (siehe Tabelle 5) (6). Die Ergebnisse dieser Berechnung und Auflistung stützen sich auf anerkannte Reviews und Studien (siehe Spalte „Signifikanz in Studien“). Die Spalte „Mittelwert RR und OR“ gibt Auskunft über das relative Risiko zu stürzen. Das bedeutet beispielsweise, dass der Risikofaktor Muskeldefizit das Risiko zu stürzen um den Faktor 4,4 erhöht.

Risikofaktoren	Signifikanz in Studien	Mittelwert RR-OR
Muskeldefizite	10/ 11	4,4
Sturzbiographie	12/ 13	3,0
Gleichgewichtsstörungen	8 / 12	2,9
Gangstörung	10/ 12	2,9
Gebrauch von Gehhilfen	8/ 8	2,6
Seheinschränkungen	6/ 12	2,5
Eingeschränkte ADL	8/ 9	2,3
Depression	3/ 6	2,2
Kognitive Einschränkung	4/ 11	1,8
Alter über 80 Jahre	5/ 8	1,7

Tabelle 5: Übersicht über die wichtigsten Risikofaktoren (6)

2.5.3 Möglichkeiten der Messung des Sturzrisikos

Die Messung des Sturzrisikos wird in der Literatur unterschiedlich gehandhabt. Es gibt zwei unterschiedliche Richtungen. Die retrospektiven Methoden und die funktionellen klinischen Messverfahren.

Retrospektiv wird die Sturzneigung über Befragung evaluiert („Wie oft sind sie im letzten halben Jahr gestürzt?“) (26, 119, 120). Dies basiert auf der wissenschaftlich belegten Annahme, dass das Risiko deutlich erhöht ist, nach einem Sturz erneut zu stürzen (118). Eine Methode, die gerade bei Älteren fehleranfällig ist, so verschwimmt doch die Erinnerung an den genauen Zeitpunkt eines Sturzes, vor allem nach einer so langen Zeitspanne. Um die Anzahl der Stürze zu erfassen, kommen als weitere Möglichkeit auch Sturztagebücher zum Einsatz, die der Betroffene selbstständig führen muss oder die wöchentliche Abfrage per Telefon. Seltener wird die Anzahl der Stürze per Videoüberwachung gemessen, da dies eine sehr aufwändige Methode ist (110, 111).

Die meisten Untersuchungen erfassen das Sturzrisiko zum Zeitpunkt der Messung anhand klinischer Funktionstests, die in Zusammenhang mit Sturzgefahr gebracht werden. Dies kann zum einen über Gleichgewichtsmessgeräte wie der Posturographie oder Kraftmessplatte erfolgen (61, 102, 119, 121). Diese apparativen Verfahren erfassen den Grad der Schwankung um den Körperschwerpunkt im Stehen. Zum anderen kommen standardisierte Testverfahren zum Einsatz, die die Mobilität, Gangsicherheit und das Gleichgewicht evaluieren (14, 15, 122, 123). Einen Überblick über die große Anzahl der standardisierten Testverfahren gibt Tabelle 6 (123).

Anwendungsfeld	Testverfahren
Sturzangst Sturzrisiko	Fall Efficacy Scale (FES-I)
	Schnell durchführbare Tests: <ul style="list-style-type: none"> • Functional Reach Test • Ein-Beinstand • Gehgeschwindigkeit • Chair-Rising Test • Timed-up-and-go Test (TUG Test)
	Umfangreichere Tests: <ul style="list-style-type: none"> • Short Physical Performance Battery (SPPB) • Tinetti Test (POMA) • Berg Balance Scale • Dynamic Gait Index (DGI)
	Dual Task Tests: <ul style="list-style-type: none"> • TUG Test + cognitive or manual task • Geh- und Zähltest • Stop walking when talking
Häusliche Abklärung möglicher Sturzquellen	Computergestützte Messung: <ul style="list-style-type: none"> • Posturograph
	Home Intervention Team (124) nach Nikolaus

Tabelle 6: Einteilung funktioneller Testverfahren zur Messung des Sturzrisikos (123)

In den Leitlinien des Dachverbandes der Osteologen werden als geeignete Testverfahren zur Messung des Sturzrisikos folgende Testungen empfohlen und in Folge dessen auch in der vorliegenden Arbeit verwendet: *Timed-Up-and-Go* Test (11, 125), Tinetti Test (126), *Chair-Rising* Test und Tandemstand (11).

Der ***Timed-Up-and-Go* Test (TUG Test)** wird eingesetzt, um bei geriatrischen oder auch neurologischen Patienten den Grad der Mobilität zu erfassen. Der Ursprungstest wurde von Mathias et al im Jahre 1986 („*Get-Up-and-Go-Test*“) publiziert und testete anhand einer Ordinalskala von 1-5 die „funktionelle Mobilität“, die definiert wurde als Gleichgewichts- und Gehmanöver, welche im Alltagsleben gebraucht werden. Im Jahre 1991 validierten Podsiadlo et al. die Testung an 60 geriatrischen Probanden, erweiterten sie durch die Zeitmessung und entwickelten *cutoff*-Werte (Schwellenwerte), die seitdem zur Bestimmung von Sturzrisiken in internationalen wissenschaftlichen Studien eingesetzt werden (125). Der TUG Test wird nicht nur von der Amerikanischen und Britischen Geriatrie-Vereinigung zum Screening vom Sturzrisiko empfohlen (6), sondern findet sich auch in den Leitlinien des Dachverbandes Osteologie wieder (11, 125). Sowohl die Intra- als auch die Intertester-

Reliabilität des TUG Tests liegt mit einem ICC von 0,91 und 0,99 sehr hoch und spricht für eine gute Wiederholbarkeit (127). Die Korrelation mit anderen funktionellen Mobilitäts- und Gleichgewichtstest, wie bspw. dem Tinetti-Test liegt bei $r = 0,55$ (127). Bei den *cutoff*-Werten zur Bestimmung von normaler und eingeschränkter Mobilität gibt es in der Literatur große Unterschiede. Die Original-Studie von Podsiadlo et al. beschreibt Patienten, die weniger als 20 Sekunden brauchen, als selbstständig mobil und diejenigen, die mehr als 29 Sekunden Gehzeit benötigen, als unselbstständig mobil und auf vermehrte Hilfestellung angewiesen. Zwischen 20-29 Sekunden ergibt sich eine Grauzone (11, 125). In einer großangelegten Studie von Bischoff et al. wurden 413 zuhause lebende ältere Menschen im Alter von 65-85 Jahren untersucht. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass diese Personengruppe in der Lage sein sollte, den TUG Test in weniger als 12 Minuten zu schaffen, ohne dass eine Mobilitätsstörung vorliege (128). Ein Problem sind die starken Differenzen in der Durchführung des Tests. In unterschiedlichen Studien variieren nicht nur die Anweisungen zum Gehtempo (s. oben), sondern auch, ob der Proband bis zu einer Linie oder um einen Kegel in drei Meter Entfernung herum gehen soll. Hieraus ergeben sich unterschiedliche Anforderungen (auf der Stelle drehen und eine Kurve gehen), die sich nicht nur anders auf die Anforderung der Mobilität auswirken, sondern auch auf die Gehzeit.

Der Mobilitätstest nach **Tinetti** wird in manchen Studien auch *Performance-Oriented Mobility Assessment* (POMA) genannt und bewertet das statische und dynamische Gleichgewicht sowie das Gangbild anhand mehrerer Kriterien bei 16 unterschiedlichen Aktivitäten. Der Tinetti Test legt sein Augenmerk auf die Qualität der Bewegung und gibt dadurch eine Aussage über das Sturzrisiko (126). Cipriany-Dacko et al. fanden in ihrer Studie eine mittlere bis gute interrater Reliabilität ($r = 0,40-0,75$), gemessen unter neun verschiedenen Untersuchern (129). Eine Untersuchung der intrarater Reliabilität zeigte hervorragende Ergebnisse (130). Eine Validierung des Tinetti Tests wurde bisher nicht durchgeführt. Es zeigt sich allerdings eine hohe Übereinstimmung mit den Mobilitäts-Items des *Functional Independence Measure* (FIM) (131) und der *Berg-Balance-Scale* ($r = 0,91$) (132).

Der **Chair-Rising Test** ist ein einfach durchzuführender funktioneller Test und misst die Muskelkraft der unteren Extremität. Das Augenmerk liegt auf der Fähigkeit, wie schnell diese Kraft entwickelt werden kann. In der Literatur finden sich weder Angaben zur Reliabilität noch zur Validität des *Chair-Rising Test* [10]. Die Untersuchung

von Tiedemann und Mitarbeitern zeigt aber, dass der Aufstehetest signifikant mit der beste Test vorhersagend für Stürze sei (11, 133).

Der **Tandemstand** ist ein Test zur Messung des seitlichen (mediolateralen) Gleichgewichtes unter statischen Bedingungen. Der Sturz auf die Seite ist zum einen alterstypisch (3, 21, 25, 26) und steigert mit dem Aufprall in der Region des Trochanter major die Gefahr einer proximalen Hüftfraktur. Weder die Reliabilität noch die Validität des Tandemstandes wurden bisher wissenschaftlich untersucht, aber einige Autoren konnten eine starke Korrelation von einer verminderten Kontrolle der mediolateralen gegenüber anterior-posterioren Schwankungen mit Stürzen feststellen (25, 100, 102, 103).

Um das Aktivitätsverhalten im Alltag, das einen erheblichen Einfluss auf das Sturzverhalten haben kann, zu erheben, wird in der Literatur der „**Physical Activity Scale for the Elderly**“ (**PASE**) empfohlen. Der PASE ist ein altersspezifischer Fragebogen zur Erfassung des Aktivitätslevels von 65-92 jährigen zu Hause lebenden Erwachsenen. Washburn und Kollegen fanden bei einer Stichprobe von 300 über 65-jährigen Menschen eine gute Validität und Test-Retest Reliabilität ($r = 0,75$). Die PASE-Scores hingen signifikant positiv mit der Handgriffstärke ($r = 0,37$), dem Gleichgewicht ($r = 0,32$) und der Beinkraft ($r = 0,25$) und signifikant negativ mit der Herzfrequenz ($r = -0,13$), dem Alter ($r = -0,34$) und dem wahrgenommenen Gesundheitszustand zusammen (134).

2.5.4 Sturzprävention

Das primäre Ziel eines effektiven Sturzpräventionstrainings sollte immer sein, jegliche Stürze im Alter zu vermeiden. Der Schwerpunkt des Trainings sollte zum einen durch eine Stärkung der motorischen Grundfähigkeiten (Kraft, Koordination mit Gleichgewicht, Beweglichkeit, Ausdauer) auf der Verbesserung der Gang- und Standfestigkeit in Alltagssituationen liegen. Zum anderen sollte das Einüben von Strategien für adäquate Gleichgewichtsreaktionen besonderen Stellenwert bekommen, um im unvermeidbaren Falle eines Stabilitätsverlustes optimal reagieren zu können. Das sekundäre Ziel sollte sein, über den richtigen Körpereinsatz den Sturzmechanismus so zu gestalten, dass im Falle eines Sturzes der Aufprall abgemildert werden kann, um schwerwiegende Verletzungen vermeiden zu können. Erkenntnisse aus den Studien, die im Kapitel 2.5.1 erwähnt wurden, können hierfür herangezogen werden. Die meisten Stürze erfolgen beim Vorwärtsgang oder auch während es Hinsetzens. Ursächlich sind am häufigsten eine fehlerhafte Gewichtsverlagerung und ein Stolpern (110, 111). Für eine seitliche Gleichgewichtsreaktion ist bspw. die *loaded side step*-Strategie besser als die *unloaded crossover-step*-Strategie, da hierbei die Gefahr der Kollision zwischen beiden Beinen recht hoch ist (siehe Abbildung 13 und Bild 9). Voraussetzung dafür ist eine reaktionsschnelle Beinmuskulatur, eine ausreichende Hüftbeweglichkeit sowie Rumpflateralflexion. Im unvermeidbaren Falle einer Sturzes nach hinten oder zur Seite ist die Vorwärtsdrehung des Rumpfes essentiell, um einerseits den direkten Aufprall auf das Becken zu vermeiden, andererseits um einen oder beide Arme austrecken zu können. Vorausgesetzt die Schultergelenke sind in die Flexions- oder Abduktionsbewegung frei beweglich und können vom Betroffenen schmerzfrei eingesetzt werden (101, 106-108).

Ist ein Patient bereits gestürzt, ist eine konsequente Dokumentation des Betroffenen selbst (Sturztagebuch) oder des Umfeldes (Pflegepersonal, Hausarzt) wichtig. Um vorliegende Risikofaktoren identifizieren oder auch die Höhe des Risikos für weitere Stürze einstufen zu können, muss ein gezieltes Sturzassessment durchgeführt werden. Auch für die weiterführende Diagnostik und Therapie ist es essentiell, den genauen Sturztypen heraus zubekommen (synkopisch, extrinsisch, intrinsisch), um nicht etwa ein lebensbedrohliches Herzleiden zu übersehen (synkopischer Sturz). Risikofaktoren, die Lokomotorik betreffend, werden mittels motorischer Tests verifiziert (siehe Tabelle 6) und sollten die Schwerpunkte der daraus folgenden Interventi-

on bilden. Mögliche Vorgaben dazu bietet Bachner et al. (siehe Tabelle 7) für den stationären Bereich (118).

Risikofaktoren	Mögliche Interventionen
Intrinsische Risikofaktoren	
Hohes Alter Multimorbidität	<ul style="list-style-type: none"> • Motivation zur körperlichen Aktivität • Sturzpräventionsgruppen in Langzeiteinrichtungen • Patienten- und Angehörigenschulung
Einschränkungen der Mobilität Gangunsicherheit Muskelschwäche Verwendung von Gehhilfen Balancestörungen	<ul style="list-style-type: none"> • Gleichgewichts- und Kraftübungen in Sturzpräventionsgruppen • Gehhilfen anpassen und warten • Anpassung des Schuhwerks
Multiple Stürze in der Anamnese	<ul style="list-style-type: none"> • Ursachensuche • Vermehrte Fürsorge • Hüftprotektoren • Patientenschulung • Sturzpräventionstraining
Hilfebedürftigkeit beim Toilettengang (Inkontinenz bzw. erhöhter Harndrang)	<ul style="list-style-type: none"> • Vermehrte Fürsorge • Nachts Stoppersocken • Bei Akzeptanz: Toilettenstuhl • Adäquates Schuhwerk
Unruhezustände Verwirrung, Demenz Schwindel	<ul style="list-style-type: none"> • Vermehrte Fürsorge • Medikamentenanpassung • Puls- und Blutdruckkontrolle
Sturzrisiko erhöhende Medikamente Multimedikation	<ul style="list-style-type: none"> • Aufklärungsgespräch durch den behandelnden Arzt • Medikamentenanpassung • Puls- und Blutdruckkontrolle
Sensorische Einschränkungen (z. B. schlechtes Sehvermögen)	<ul style="list-style-type: none"> • Sehhilfen reinigen und anpassen • Kontrolle der Sehschärfe • Anpassung der Umgebung
Freiheitsbeschränkende Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Reduktion von freiheitsbeschränkenden Maßnahmen • Alarmsysteme (Bett, Sessel, Sensormatte...) • Vermehrte Kontrollgänge • Medikamentenanpassung • Hüftprotektoren
Extrinsische Risikofaktoren	
Schlechtes Licht	<ul style="list-style-type: none"> • Lichtanpassung Tag und Nacht • Automatisches Licht (Bewegungsmelder)
Stolperfälle	<ul style="list-style-type: none"> • Stolperfallenbeseitigung • Ggf. ergotherapeutische Beratung zum Wohnumfeld
Unangemessenes Schuhwerk	<ul style="list-style-type: none"> • Aufklärung bezüglich Schuhwerk • Schuhwerkanpassung
Hohes Bettniveaus	<ul style="list-style-type: none"> • Bett tiefer Stellen • Sturzmatte • Im Notfall: Matratze auf den Boden legen
Rutschiger Boden	<ul style="list-style-type: none"> • Warntafeln, Absperrung • Putzzeiten an Aktivitäten der Bewohner anpassen

Tabelle 7: Ableitung von Interventionen (118)

Diese Vorschläge von Bachner et al. können auch auf selbstständig lebende Senioren übertragen werden.

Es liegen zahlreiche Ansätze der Sturzprävention und Studien über Wirksamkeit sturz- und frakturpräventiver Maßnahmen vor. In diesem Kapitel sollen nur kurz einige Ansätze vorgestellt werden. Eine vollständige Abhandlung ist im Rahmen dieser Dissertation nicht möglich. An dieser Stelle wird auf das europäische Netzwerk zur Sturzprävention verwiesen, das im Internet unter www.profane.eu.org eine umfangreiche Datenbank zu dieser Thematik anbietet.

Bei multifaktoriellen Interventionen werden gleichzeitig mehrere Ansätze, wie z. B. Bewegungsschulung, Medikamentenanpassung, Verhaltensschulung in Gruppen- oder auch Einzelinterventionen eingesetzt, jedoch ohne den Anspruch der Individualisierung (32, 118). Es empfiehlt sich im stationären Bereich einzusetzen. Die Sturzrate kann hierdurch bei Heimbewohnern um 25-46 % gesenkt werden (135). Ein monofaktorieller Ansatz wird demgegenüber eher im selbstständig lebenden Bereich angewendet. Bei dieser Herangehensweise werden nur einzelne Komponenten berücksichtigt. Denkbar sind nur eine Bewegungsschulung, nur eine Medikamentenanpassung, nur eine Wohnraumanpassung oder Sehschärfenanpassung. Hierfür eignet sich ein Gruppenangebot besonders, da mit geringem Aufwand von Personen und Kosten viele Menschen erreicht werden. Wichtig ist, dass die gezielte Bewegung zielgruppenorientiert ist (32, 118).

Aus dem Buch „Sturzprävention in Therapie in Praxis“ stammt die folgende Tabelle 8, die einen Überblick über evidenzbasierte Inhalte sowie Elemente für effektive Sturzpräventionsprogramme bietet (118).

Inhalte effektiver Sturzprävention	Elemente
Inkludierte Übungsformen	<ul style="list-style-type: none"> • Gleichgewichtsübungen • Kraftübungen • Übungen mit dem Ziel der Verbesserung der Armstützfunktion • Verbesserung und Modifizierung der Gehfähigkeit • Funktionelles Training (Treppensteigen, Alltagsaktivitäten) • Verbesserung der Bewegungshandlung in komplexen Situationen, Multitasking • An Senioren angepasstes Tai Chi • Ergänzend: Ausdauertraining
Übungsdurchführung	<ul style="list-style-type: none"> • Progressive Steigerung • Individuelle Intensitätssteuerung • Übungen auf Hauptrisikofaktoren der Teilnehmer ausgerichtet • Zusätzlich ein einfaches Heimübungsprogramm
Eckdaten des Bewegungsangebots	<ul style="list-style-type: none"> • Trainingseinheiten möglichst 60 Minuten • 3-mal pro Woche • 10-12 Wochen minimale Durchführung • Ideal: 50 Einheiten über ein halbes Jahr • Entweder individuelles oder Gruppentraining • Unterstützende Maßnahmen zur Erhaltung der Motivation (Gruppen-dynamik, Telefonanrufe usw.)
Programmdesign und Trainerqualifikation	<ul style="list-style-type: none"> • Programm durch ausgebildete Fachkräfte ausgearbeitet • Programm gehalten durch ausgebildete Sturztrainer

Tabelle 8: Inhalte von Bewegungsangeboten zur Sturzprävention (118)

Da die Umsetzung von Sturzpräventionsangeboten im ambulanten Bereich noch nicht einheitlich und flächendeckend durchgeführt wird, hat die Bundesinitiative Sturzprävention 2009 ein „Empfehlungspapier für das körperliche Training zur Sturzprävention bei älteren, zu Hause lebenden Menschen“ entwickelt und veröffentlicht (136). Die Bundesinitiative Sturzprävention ist ein Zusammenschluss von Wissenschaftler/innen und Expert/innen aus dem Bereich der Sturzprävention, von Mitarbeiter/innen von Krankenkassen sowie von Sport- und Wohlfahrtsverbänden. Sie postuliert, dass das Kernelement einer erfolgreichen Sturzprävention im ambulanten Bereich das regelmäßige, progressive, körperliche Training über einen Zeitraum von mindestens drei Monaten in Form von Gruppenangeboten ist. Der inhaltliche Schwerpunkt sollte auf die Verbesserung des Gleichgewichtes abzielen. Bei besonders gebrechlichen Personen sollte zusätzlich ein initiales Krafttraining durchgeführt werden. Als Zielgruppe unterscheiden sie „Ältere Menschen mit moderatem Risiko“ und „Ältere Menschen mit hohem Risiko“. Die Identifikation der Zielgruppe soll über definierte Testkriterien der *Short Physical Performance Battery* (SPPB) und des TUG Tests erfolgen. Die SPPB ist eine Testbatterie, die die wichtigsten motorischen Dimensionen Kraft, Ganggeschwindigkeit und Gleichgewicht abdeckt. Sie beinhaltet

einen Gehstest über vier Meter, den *Chair-Rising* Test und den modifizierten Romberg Test (bestehend aus Tandemstand, semi-Tandemstand, Tandemgang). Über die Auswahl und Intensität der Übungen für die beiden unterschiedlichen Gruppenangeboten macht die Bundesinitiative Sturzprävention jedoch keine Angaben. Sie weist jedoch auf notwendige Qualifikationen der Übungsleiter hin, die einerseits über eine Grundqualifikation (Physiotherapeut, Sport- und Gymnastiklehrer usw.), andererseits über eine zusätzliche spezielle Fortbildung in der Sturzprävention verfügen sollen (136).

Da stürzende Osteoporosepatienten besonders gefährdet sind, eine Fraktur zu erleiden, ist gerade für diese Klientel ein Sturzpräventionstraining mit hoher Effektivität wichtig. Unter Absprache mit der Leitlinien-Kommission des Dachverbands Osteologie hat daher das Zentrum für Muskel- und Knochenforschung der Charité – Universitätsmedizin Berlin in Zusammenarbeit mit Physiotherapeuten, Sportwissenschaftlern und Medizinern im Jahre 2008 eine deutschsprachige Leitlinie zur „Physiotherapie und Bewegungstherapie bei Osteoporose“ erarbeitet, die den aktuellen Stand der Wissenschaft widerspiegelt. Gegenstand der Leitlinie ist die begleitende, nicht pharmakologische Therapie der Osteoporose zur Verminderung des Sturz- und Frakturrisikos (63). Tabelle 9 gibt einen Überblick über evidenzbasierte Trainingsmöglichkeiten in der Sturzprophylaxe bei Osteoporosepatienten.

Ziel	Zielpopulation	Interventionsempfehlungen	Evidenzgrad
Reduktion der Frakturinzidenz Erhalt und Aufbau von Knochenmasse und -festigkeit	selbstständig zu Hause lebend	<ul style="list-style-type: none"> • Krafttraining 	niedrig
	postmenopausal	<ul style="list-style-type: none"> • Krafttraining 	mittel
	osteopenisch/ osteoporotisch	<ul style="list-style-type: none"> • Tai Chi • Krafttraining 	niedrig mittel
		<ul style="list-style-type: none"> • Aerobes - und Krafttraining 	mittel bis hoch
Reduktion der Sturzinzidenz, Verminderung der Sturzangst	selbstständig zu Hause lebend, Sturzrisiko leicht erhöht	<ul style="list-style-type: none"> • Kraft- und Gleichgewichtstraining als Heimprogramm 	niedrig bis hoch
		<ul style="list-style-type: none"> • Tai Chi 	mittel
		<ul style="list-style-type: none"> • Koordinationstraining 	mittel
	selbstständig lebend, Sturzrisiko stark erhöht	<ul style="list-style-type: none"> • Kraft- und Gleichgewichtstraining kombiniert mit Wohnraumanpassung und Visuskorrektur 	mittel
		<ul style="list-style-type: none"> • Tai Chi 	mittel
		<ul style="list-style-type: none"> • Kraft und Gleichgewicht in der Gruppe 	mittel bis hoch
	<ul style="list-style-type: none"> • Kraft-, Ausdauer- und Gleichgewichtstraining in der Gruppe (mit Heimübungsprogramm und Informationsmaterial) 	hoch	
	<ul style="list-style-type: none"> • Kraft und Gleichgewicht bei stark dekonditionierten Personen 	mittel	
	<ul style="list-style-type: none"> • Kraft, Gleichgewicht mit Walking kombiniert 	mittel	

Tabelle 9: Training zur Sturzprävention bei Patienten mit Osteoporose (63)

2.6 Sturz und Osteoporose

Dass Osteoporosepatienten ein erhöhtes Sturzrisiko haben und häufiger stürzen, haben wissenschaftliche Studien gezeigt, ohne dass bekannt wäre, welche Faktoren der Osteoporose genau die erhöhte Fallneigung bewirken (120, 137). Stürzt ein Osteoporosepatient, hat er ein viel höheres Risiko, einen Knochenbruch zu erleiden als ein gesunder Gleichaltriger. Zu den häufigsten Frakturen nach einem Sturz gehört der Oberschenkelhalsbruch (11). Beim osteoporotischen Schenkelhalsbruch beträgt die Sterblichkeit während des stationären Aufenthaltes bereits 6 % (50). Man geht davon aus, dass 12 Monate nach einer Fraktur bis zu einem Drittel der Betroffenen verstorben sind, zumeist an Erkrankungen des Herzens, der Gefäße oder der Lunge

(51). Es sind extrinsische und intrinsische Risikofaktoren bekannt, die in ihrer Summe das Risiko zu stürzen erhöhen (siehe Tabelle 4 und 5). Hierbei handelt es sich um Faktoren, die sich bei allen älteren Menschen finden. Typische altersbedingte Erscheinungen, die die Wirbelsäule betreffen und sich bei Osteoporosepatienten in protrahierter Form zeigen, wurden bisher nur wenig berücksichtigt.

2.6.1 Sturzrisiko bei osteoporosebedingten Wirbelsäulenschmerzen

Der Beginn einer Osteoporose ist häufig schmerzfrei. Veränderungen an der Knochenstruktur gehen schleichend voran und machen sich oftmals erst Jahre nach Ausbruch der Erkrankung bemerkbar. Hierbei kommt es häufig zu Frakturen, die eine akute Schmerzsymptomatik verursachen (138). Diese Schmerzen sind auch der Grund für den Besuch beim Arzt oder Physiotherapeuten. Statische Haltungsveränderungen stören die Patienten weniger, da sie langsam entstanden sind und der Patient sich dran gewöhnt hat. Subjektives Leitsymptom der Osteoporose ist der schwere Rückenschmerz. Die häufig daraus resultierende partielle oder komplette Immobilisation des Betroffenen führt sowohl zur muskulären Atrophie als auch zu einem Vorranschreiten des Knochenverlustes. Die Folge daraus ist eine mangelnde Stand- und Gangstabilität mit erhöhtem Sturz- und Frakturrisiko (14, 139, 140). Greig et al. untersuchten Osteoporosepatientinnen mit und ohne Frakturen hinsichtlich ihres Gleichgewichtes, gemessen mit einer Kraftmessplatte. Sie fanden heraus, dass eine Verminderung des Gleichgewichtes bei der Gruppe mit Wirbelkörperfrakturen stärker ausgeprägt war. Sie begründeten ihr Ergebnis mit den damit verbundenen Schmerzen sowie der daraus resultierenden gestörten Rumpfmuskelkontrolle (121). Es gibt auch Untersuchungen darüber, dass der Osteoporoseschmerz nicht an den Nachweis einer Wirbelkörperfraktur gekoppelt ist (56, 140, 141). Bianchi et al. ermittelten in nur 66 % der Osteoporosepatientinnen mit Fraktur und in 41 % ohne nachweisbare Fraktur chronische Schmerzen (141). Auch in der Untersuchung von Liu-Ambrose et al. hatten von den 93 Osteoporosepatientinnen nur 13 % eine Wirbelkörperfraktur, aber 75 % klagten über Rückenschmerzen. Die Autoren vermuten, dass eher eine kyphotische Fehlhaltung den Rückenschmerz bewirke. Genauer genommen der ligamentäre sowie muskuläre Stress durch die Überdehnung sowie die Fehlbelastung und daraus resultierende degenerative Veränderung an den Facettengelenken und Bandscheiben, die wiederum die Funktion der spinalen Nerven beeinträchtigen können (139, 140). Abbildung 15 gibt einen Überblick über Schmerzlokalisationen bei

Osteoporose. Balzini und Mitarbeiter untersuchten zwar keine an Osteoporose erkrankten Patienten, sondern gesunde ältere Frauen, stellten aber auch in dieser Population einen Effekt zwischen der Stärke der Kyphose und einem erhöhten Schmerzniveau fest (56). Auch in der Studie von Miyakoshi et al. zeigten alle 157 Osteoporosepatientinnen mit verschiedensten Haltungsdeformitäten (Rundrücken, Hohl-Rund-Rücken, Totalkyphose) vermehrt Rückenschmerzen (119). Demgegenüber stehen die Ergebnisse von Ettinger und Mitarbeitern, die an 610 Frauen (65-91 Jahre) keine Korrelation zwischen einer osteoporosebedingten Kyphose und einem Rückenschmerzen fanden (142).

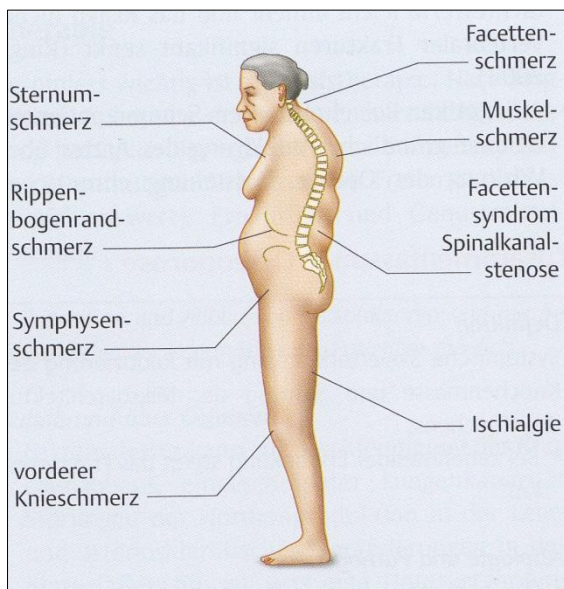


Abbildung 15: Schmerzlokalisationen bei Osteoporose (18)

Dass ein erhöhtes Sturzrisiko im Zusammenhang mit Rückenschmerzen steht, erkannten u. a. auch Leveille und Mitarbeiter. Sie untersuchten in einer groß angelegten Longitudinalstudie über drei Jahre 1002 Frauen im Alter von über 60 Jahren mit verschiedenen Schmerzen (generalisierte Schmerzen mit VAS ≥ 4 , Schmerzen in der unteren Extremität, andere Schmerzen, milde Schmerzen mit VAS < 4 bzw. keine Schmerzen). Wie man in Abbildung 16, entnommen aus der Studie, erkennen kann, war das Sturzrisiko während der Nachuntersuchungszeit für die Probandinnen mit den generalisierten Schmerzen (VAS ≥ 4), worunter auch der Rückenschmerz fiel, am höchsten (14).

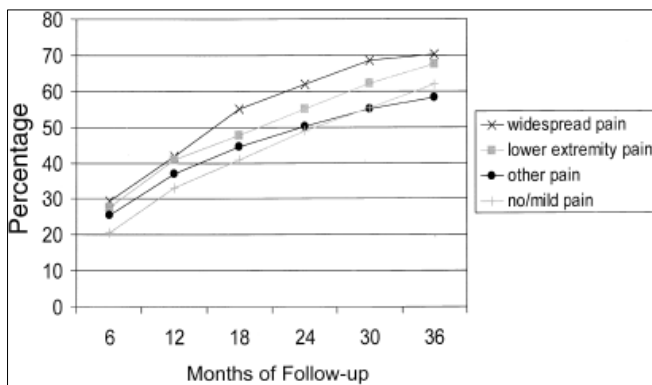


Abbildung 16: Prozentuale Verteilung der Sturzrate der einzelnen Schmerzgruppen während der Nachuntersuchungszeit (14)

Diese Erkenntnisse lassen sich auch auf Osteoporosepatienten mit Wirbelsäulenschmerzen übertragen. Bedingt durch eine mangelnde Rumpfmuskelkontrolle beeinflusst der Schmerz das Gleichgewicht und damit das Sturzrisiko (121). Liu-Ambrose et al. erkannten bei 93 Osteoporosepatientinnen einen signifikanten Zusammenhang zwischen Rückenschmerzen und der Balancefähigkeit bzw. Mobilität. Sie führten dies auf eine schmerzbedingte Reduktion der körperlichen Aktivität mit einer damit verbundenen Muskelschwäche zurück. (140). Zum selben Ergebnis kamen auch Hübscher et al. in ihrer Untersuchung. Ihre Probandenkiel zeigte zudem noch, dass Osteoporosepatientinnen mit sehr starken Rückenschmerzen und den größten Einschränkung in der Mobilität zwar mehr Sturzangst hatten, aber im Alltag mehr sitzen und demzufolge auch weniger stürzten (139).

Auch eine eingeschränkte spinale Beweglichkeit verringert die Fähigkeit auf Störungen, die das Gleichgewicht beeinträchtigen, adäquat zu reagieren und kann zu Stürzen führen. In Verbindung mit einer Minderbeweglichkeit treten häufig Schmerzen auf, wobei nicht klar ist, welches der beiden Faktoren ursächlich ist. Zu diesen Erkenntnissen kamen auch Studien, die sich mit dem lumbalen Rückenschmerz (*low back pain*) beschäftigten. Miyakoshi et al. teilten über 600 Frauen mit chronischem lumbalen Rückenschmerz (ohne Osteoporose) in vier Schmerzgruppen ein und zeigte, dass die Gruppe mit starken Schmerzen kombiniert mit einer funktionellen Gehbeeinträchtigung weniger Extension der Lendenwirbelsäule beherrschten (143). Dieselben Erkenntnisse lassen sich auf Osteoporosepatienten und auf ein erhöhtes Sturzrisiko übertragen, wie zwei frühere Studie dieser Arbeitsgruppe belegte (60, 119).

Eine initial suffiziente medikamentöse Schmerzreduktion begleitend zur gezielten Osteoporosebehandlung wird mit dem Gedanken eingesetzt, Sekundärfolgen wie Verspannungen, Schonhaltungen und Muskelabbau durch Immobilisierung zu minimieren. Da dies alles in eine Gangunsicherheit und Sturzneigung resultieren kann, bildet sie damit die Voraussetzung für eine gesteigerte Lebensqualität, für den Erhalt der Selbständigkeit und somit die Vermeidung von Pflegebedürftigkeit. Die aktuellen Leitlinien des Dachverbandes der Osteologen empfehlen in der medikamentösen Behandlung eine möglichst kurzzeitige Anwendung von Schmerzmedikamenten mit engmaschigen Kontrollen. Der Einsatz von nichtsteriodalen Antirheumatika (NSAR) ist aufgrund der erhöhten Organtoxizität bei den meist älteren Patienten oft problematisch. Gemeint sind Komplikationen des oberen Gastrointestinaltraktes (Ulkus, Blutungen, Perforationen), kardiovaskuläre Risiken sowie Verschlechterungen der Nierenfunktion. Opiate haben zwar nur eine geringe Organtoxizität, können aber aufgrund gravierender sonstiger Nebenwirkungen und Unverträglichkeiten, die ihrerseits sturzbedingend sind (z. B. Übelkeit, Benommenheit, Schwindel) oft nicht eingesetzt werden. Bei Schmerzen nach Wirbelkörperfrakturen werden begleitend zur medikamentösen Schmerztherapie physiotherapeutische Maßnahmen zur Schmerzlinderung und zur Ermöglichung einer Mobilisierung, mit Interferenzstromtherapie sowie ggf. eine wirbelsäulenaufrichtende Orthese, empfohlen (11).

2.6.2 Sturzrisiko bei osteoporosebedingter Veränderung der Wirbelsäulenstatik

Haltungsveränderungen bei Osteoporosepatienten beginnen mit einer lokalen Kyphose der Brustwirbelsäule, auch Rundrücken genannt. Beides kann eine erhöhte Gang- und Standunsicherheit zur Folge haben, was eine Studie von Kasukawa et al. bestätigt. Sie fanden bei ihrer Probandengruppe der Stürzer einen Zusammenhang mit einer verringerten lumbalen Lordose und erhöhten Inklination im Vergleich zu der Gruppe der Nicht-Stürzer. Für die Messung der Wirbelsäulenstatik verwendeten sie die MediMouse® (13).

Andere Autoren vermuten, dass ältere Menschen deswegen in ihrer Körperhaltung gebeugter werden, weil sie dadurch den Körperschwerpunkt herab setzen und somit die Körperstabilität erhöhen (144-146). Betroffene verwenden dann als Unterstützung entweder einen Gehstock bzw. Rollator oder leiden unter erheblichen Gleichge-

wichtsstörungen in anteriorposteriorer bzw. mediolateraler Richtung, was wiederum ihr Sturzrisiko erhöht (119).

Bedingt durch Formveränderungen und Frakturen der Wirbelkörper haben Osteoporosepatienten eine signifikant stärkere thorakale Kyphose als gleichaltrige Gesunde (56-60). Studien, die das Sturzrisiko untersuchten, kamen zu dem Schluss, dass diese Veränderung an der Statik das Gleichgewicht beeinflussen und die Sturzneigung erhöhen (61, 102, 119, 120, 146, 147). Abbildung 17 aus der Studie von Ishikawa et al., die Osteoporosepatienten hinsichtlich Wirbelsäulenform und Sturzrisiko untersuchten, gibt einen guten Überblick darüber, auf welche Weise eine entstehende Kyphose mit einem erhöhten Sturzrisiko zusammenhängt (61).

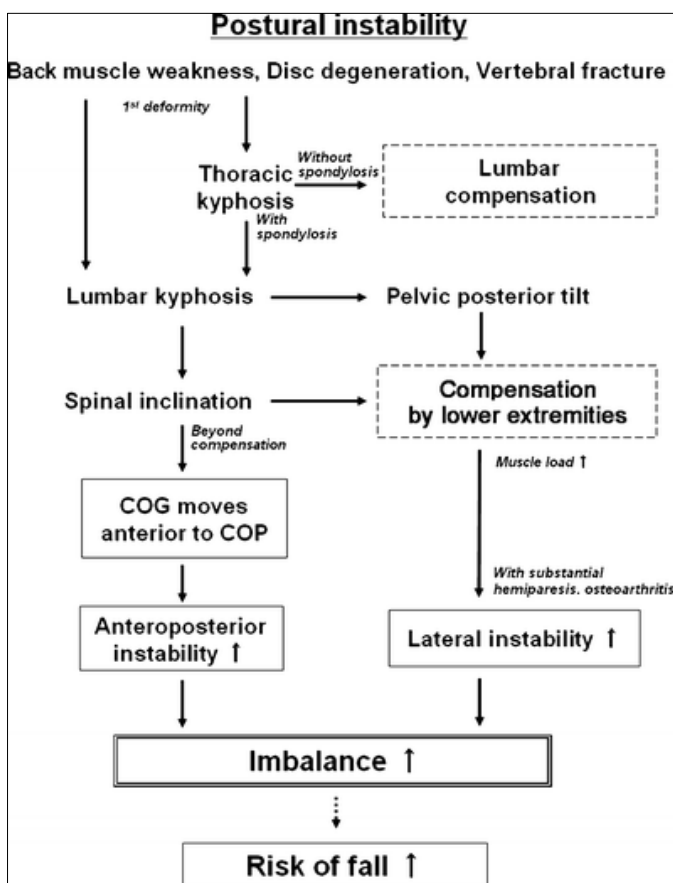


Abbildung 17: Zusammenhang zwischen einer entstehenden Kyphose mit dem Sturzrisiko (61)

COG = Center of Gravity (Körperschwerpunkt), COP = Center of Pressure (Unterstützungsfläche)

Bei einer großen Querschnittstudie von Katzman und Mitarbeitern wurden über vier Jahre 6439 Frauen mit Osteoporose hinsichtlich der Ausprägung ihrer Kyphose und der körperlichen Mobilität (gemessen mit dem TUG) untersucht. Ein Ergebnis war,

dass eine Verschlechterung der thorakalen Kyphose einhergeht mit einer eingeschränkten Mobilität und steigendem Sturzrisiko (147). Sinaki und Mitarbeiter untersuchten das Sturzrisiko bei Osteoporosepatienten mit einer vermehrten Kyphose der Brustwirbelsäule mittels einer Ganganalyse und einem Posturographen. Auch sie stellten in dieser Gruppe im Vergleich zu gesunden Gleichaltrigen ein höheres Sturzrisiko fest (102). Auch bei Osteoporosepatienten, die im letzten halben Jahr mehr als einmal gestürzt sind, zeigte sich in der Untersuchung von Cook eine signifikant stärkere Brustwirbelsäulenkyphose als bei Nicht-Stürzern. Zudem hatten die Stürzer in der Messung mit dem TUG und dem Test *Functional-Reach* schlechtere Ergebnisse (148). Nur die Studie von Ishikawa et al. postulierte, dass nicht etwa die thorakale, sondern viel mehr die lumbale Kyphose von Osteoporosepatienten einen Einfluss auf das Sturzrisiko nehme (61).

Die Arbeitsgruppe um Greig konnte in ihren Studien keinen Zusammenhang zwischen vermehrter Kyphose in Brust- und Lendenwirbelsäule und dem Sturzrisiko finden. Sie stellten einen Vergleich auf zwischen Osteoporosepatientinnen mit wenig und stark ausgeprägten Kyphosen bzw. mit und ohne Wirbelkörperfrakturen. Das Gleichgewicht maßen sie mit einer Kraftmessplatte und drei verschiedenen Fußpositionen (121). In einer anderen Studie dieser Arbeitsgruppe verminderten die Forscher die Kyphosen von Osteoporosepatientinnen mit Hilfe von Tapeastreifen, erfassten aber ebenfalls keine Gleichgewichtsverbesserung bei Messungen auf einer Kraftmessplatte. Ihre Erklärung war, dass das Tape eben nur mechanisch und nicht muskulär wirke (58).

2.6.3 Sturzrisiko bei osteoporosebedingter verminderter Wirbelsäulenbeweglichkeit

Die Beweglichkeit an der Wirbelsäule lässt Bewegungen in drei Ebenen zu: in der Sagittalebene ist es die Flexion und Extension, in der Frontalebene die Lateralflexion sowie in der Transversalebene die Rotation. In aktuellen Untersuchungen zeigen sich unterschiedliche Korrelationen zwischen der Abnahme des spinalen Bewegungsausmaßes und der sinkenden Knochendichte (60, 149, 150), einer Zunahme des Alters (143, 149, 151), der Wirbelkörperfrakturen (61, 151), der lumbalen Lordose (59, 119, 151) bzw. thorakalen Kyphose (119, 149, 151) und der Schwäche der Rückenmuskulatur (59, 60, 149, 151).

In annähernd allen wissenschaftlichen Untersuchungen wird bei der spinalen Beweglichkeit der Fokus auf die Extensions- und Flexionsbewegung, nicht aber die Rotation und Lateralflexion gelegt. Dabei handelt es sich hierbei um physiologische Bewegungen, die für eine seitliche Ausgleichsbewegung im Falle eines Gleichgewichtsverlustes notwendig sind. Es wurde nur eine Studie gefunden, die zusätzlich die Wirbelsäulenbeweglichkeit in Richtung Lateralflexion und Rotation untersuchte. Die Forscher benutzen für ihre Untersuchungen einen *lumbar motion monitor*. Ein rucksackähnliches Gerät, das dreidimensionale Bewegungen und Bewegungsgeschwindigkeiten der Lendenwirbelsäule anhand digitaler Bewegungskurven aufzeichnet. Sie untersuchten 30 Frauen mit Osteoporose und Osteopenie und kamen zu dem Ergebnis, dass die spinalen Bewegungen und Geschwindigkeiten in Richtung der Lateralflexion und Rotation bei den Osteoporosefrauen signifikant verringert waren. Das Ausmaß der Bewegungsamplitude und die Geschwindigkeit der Extensions- und Flexionsbewegung zeigte hingegen keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen (150).

Ob es eine Korrelation zwischen dem Sturzrisiko und der Wirbelsäulenbeweglichkeit gibt, untersuchten nur wenige Studien. In der Untersuchung von Miyakoshi und Kollegen wurde bei 157 Osteoporosepatientinnen (> 55 Jahre) mit verschiedenen Rückendeformitäten (Rundrücken, Hohl-Rund-Rücken, komplette Kyphose) unter anderem untersucht, inwiefern ihre Wirbelsäulenstatik und auch -beweglichkeit (Extension, Flexion) Einfluss auf ihre Lebensqualität nimmt. Die Lebensqualität wurde mit einem japanischen Fragebogen (*Japanese Osteoporosis QOL Questionnaire, JOQOL*) gemessen, bestehend aus 38 Items, in dem neben Schmerz, Aktivitäten des täglichen Lebens, Freizeitgestaltung, mit fünf Items in der Kategorie „*falls and psychological factors*“ auch Stürze abgefragt wurden. Das Ergebnis war, dass alle betroffenen Frauen sowohl eine verminderte Lebensqualität als auch spinale Minderbeweglichkeit hatten im Vergleich zu den Frauen, mit einer normalen Haltung. Die Lebensqualität wurde aber nicht durch das Sturzrisiko, sondern durch eine Einschränkung in den Aktivitäten des täglichen Lebens beeinträchtigt (119). In einer späteren Studie untersuchte derselbe Erstautor mit einer anderen Forschergruppe u. a. die Frage, ob der Kyphosewinkel und die Beweglichkeit der Wirbelsäule (Extension, Flexion) als Prädiktoren für die Lebensqualität (gemessen mit dem JOQOL) gelten können. Sie kamen zu dem Schluss, dass es nur zwischen dem lumbalen Lordosewinkel und vor allem der lumbalen Beweglichkeit und der Lebensqualität insgesamt (und auch der

Kategorie *falls and psychological factors*) eine signifikante Korrelation gibt, nicht aber zwischen dem thorakalen Kyphosewinkel bzw. der thorakalen Beweglichkeit und der Lebensqualität (60). Zu demselben Schluss kamen auch Kasukawa und Mitarbeiter, die 92 gesunde ältere Probanden in drei Gruppen (Stürzer, Nicht-Stürzer, Sturzangst) aufteilten. Sie fanden heraus, dass in der Gruppe der Stürzer die lumbale Mobilität (Extension-Flexion) signifikant geringer war als in den anderen beiden Gruppen (13). In der anderen Studie, die von Physiotherapeuten aus Chicago durchgeführt wurde, wurden bei 51 ältere gesunden Probanden (62-86 Jahren) u. a. die Wirbelsäulenrotation mit dem Messgerät zur *functional axial rotation* (FAR) gemessen. Anschließend wurden über eine Dauer von einem Jahr auftretende Stürze dokumentiert. Dafür mussten die Probanden jeden Monat eine vorher angefertigte Postkarte ausgefüllt abschicken und wurden über regelmäßige Telefonanrufe daran erinnert. 37,3 % der Probanden stürzten im Erhebungszeitraum einmal oder häufiger. Die Gestürzten waren durchschnittlich zwei Jahre älter als die Nicht-Stürzer und hatten eine signifikant verringerte Wirbelsäulenrotation. Bei einer Verschlechterung von 30° Rotation stieg die Sturzgefahr um das 2,2 fache an (152).

Weitere Hinweise auf einen Effekt von Minderbeweglichkeit auf eine erhöhte Sturzneigung gibt die Untersuchung von Chiacchiero und Mitarbeitern. Sie untersuchten allerdings die Beweglichkeit der unteren Extremität (Fuß, Knie-, Hüftgelenke) bei gesunden älteren Personen, die mehr als zweimal im letzten Jahr gestürzt waren (122).

3 Probanden und Methoden

3.1 Probanden

Nach dem positiven Ethikvotum der Landesärztekammer Mainz (siehe Anhang) startete Anfang Juli 2011 die Rekrutierung sowie Untersuchung der Osteoporosepatienten. Die Stichprobengröße wurde durch das Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI) der Universitätsmedizin Mainz berechnet und bei $n = 98$ festgesetzt. Die Datenerhebung endete Anfang Januar 2012 mit ihrem 100. Probanden und dauerte demzufolge fast sechs Monate. Die Rekrutierung der Probanden verlief über verschiedene Wege. Ein Drittel der Probanden konnte über die wöchentliche Osteoporosesprechstunde der Orthopädischen Poliklinik der Universitätsmedizin Mainz ($n = 24$) sowie über die Osteoporosesprechstunde der Endokrinologie der Universitätsmedizin Mainz ($n = 7$) bezogen werden. Der überwiegende Teil der rekrutierten Osteoporosepatienten wurde zum einen über einen eigens angefertigten Flyer (siehe Anhang) auf die Studie aufmerksam. Die Flyer lagen in Arztpraxen, Apotheken, bei lokalen Selbsthilfegruppen und auf dem Gelände der Universitätsmedizin Mainz aus. Zum anderen gab es in Form von Mitteilungen in regionalen Zeitungen und in der Patientenzeitschrift „Mobiles Leben“ (Kuratorium Knochengesundheit) einen Aufruf zur Studienteilnahme (siehe Anhang).

In die Studie eingeschlossen wurden 100 selbstständig zu Hause lebende Patienten, die laut einer aktuellen DXA Messung einen Knochendichtewert entsprechend eines T-Wertes von $\leq -2,5$ hatten und über 55 Jahren alt waren. Zu den Ausschlusskriterien zählte das Vorliegen einer akuten Fraktur oder einer Erkrankung, die das Gleichgewicht oder die Gehfähigkeit einschränkt (bspw. Polyneuropathie, Schlaganfall). Auch eine starke Beeinträchtigung der kognitiven Leistung in Form von Verständnis- und Konzentrationsschwierigkeiten während der Testung wurde als Ausschlusskriterium gewertet. Patienten, die den Einschlusskriterien entsprachen, wurden in die Universitätsmedizin Mainz zu einem Untersuchungstermin eingeladen. Bei den Patienten, die aus der Osteoporosesprechstunde rekrutiert wurden, verlief die Untersuchung während ihrer Wartezeit auf ihren Arzttermin. Alle Patienten erhielten vor der Untersuchung eine umfassende Patienteninformation in Wort und Schrift (siehe Anhang) und hatten ausreichend Zeit, die Einwilligungserklärung (siehe Anhang) zu unterschrei-

ben. Tabelle 10 gibt einen Überblick über die Merkmale der eingeschlossenen Probanden.

	Frauen, n = 87			Männer, n = 13			Gesamt, n = 100		
	MW	SD	range	MW	SD	range	MW	SD	range
Alter (Jahren)	70,91	7,66	56-87	70,38	6,59	55-79	70,8	7,49	55 – 87
Knochen-dichte	(-)3,02	0,54	(-)5,10 – (-)2,5	(-)3,21	0,52	(-) 4,14 – (-)2,5	(-)3,05	0,54	(-)5,10 – (-)2,5
Größe (cm)	160,72	6,59	145-175	174,96*	7,29	165-192	162,57	8,21	145 –192
Gewicht (kg)	62,58	12,22	38-100	74,38*	13,09	54-106	64,12	12,90	38 - 106
BMI (kg/m²)	23,67	4,48	16-38	23,69	2,81	19-31	23,67	4,28	16 – 38

Tabelle 10: Merkmale der eingeschlossenen Probanden

MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung, *Geschlechterunterschied $p < 0,05$

3.2 Methoden

Im Folgenden wird die Methode beschrieben, mit der das Sturzrisiko sowie die Wirbelsäulenbeweglichkeit und -haltung der Probanden ermittelt wurden. Um die Praktikabilität der einzelnen Mess- und Testverfahren sowie deren Standardisierung zu festigen, wurden alle Tests zuvor von der Untersucherin an 20 Physiotherapieschülern geübt. Die Untersuchung jedes in die Studie eingeschlossenen Probanden dauerte ca. 45 Minuten. Alle aufgenommenen Daten wurden auf das Patientendatenblatt eingetragen (siehe Anhang) und mit einer fortlaufenden Nummer versehen. Im Anschluss daran wurden der Name des Probanden und seine Code-Nummer auf ein gesondertes Blatt notiert und die aufgenommenen Daten anonymisiert in das Statistikprogramm SPSS eingetragen.

3.2.1 Halte- und Bewegungsmessungen

Für die Messung der **Wirbelsäulenlateralflexion** sowie **-rotation** kamen der Plurimeter bzw. Plurikompass zum Einsatz (siehe Bild 2 und 3). Um die Messgenauigkeit mit diesen beiden Bewegungsmessern zu erhöhen, wurde die Ausgangsstellung der Probanden während der vorliegenden Untersuchung standardisiert. Jeder Proband

saß mit verschränkten Armen auf einem Hocker mit Blickrichtung zur Wand und sollte während der Bewegungen stets mit seinen Kniespitzen Kontakt zur Wand halten. Somit konnten Ausweichbewegungen mit dem Becken vermieden werden und eine isolierte Bewegung und Messung der Brust- und Lendenwirbelsäulenrotation ohne Mitbeteiligung der Hüftgelenke gewährleistet werden. Der Plurimeter wurde auf den zuvor markierten Punkt am siebten Halswirbel angelegt und ermöglichte somit die Messung der Beweglichkeit der kompletten Brust- und Lendenwirbelsäule. Für die Vermessung der Lateralflexion bekam der Proband den Auftrag, den Oberkörper zunächst so weit nach rechts zu neigen, wie es ihm möglich sei, er keinen Schmerz erleide, die linke Gesäßseite nicht vom Hocker abhebe und die Kniespitzen den Kontakt mit der Wand beibehielten. Sobald er diese Position erreicht hatte, wurde der Messwert auf dem Plurimeter abgelesen und dem Probanden der Bewegungsauftrag zur linken Seite gegeben. Auch hier wurde am Endpunkt der Bewegung der Messwert abgelesen und mit dem anderen aufsummiert. Dieser Ablauf wurde zweimal wiederholt. Der erste Durchlauf galt als Testlauf und erst die Daten des zweiten Durchlaufes gewertet. Für die daran anschließende Messung der Wirbelsäulenrotation bekam der Proband den Bewegungsauftrag, seinen Oberkörper zuerst maximal nach rechts und anschließend nach links zu drehen. Es galten genau dieselben Bedingungen wie für die Lateralflexion.

Nach der Neutral-Null-Methode wird die Extension der Wirbelsäule in Bauchlage gemessen (der Abstand zwischen der Liege und dem Jugulum). Da dies aber mit einem erhöhten Kraftaufwand einhergeht, wurde in der vorliegenden Studie die Messung der **Wirbelsäulenextension** genauso wie die **Wirbelsäulenflexion** und **-inklination** im Stand vorgenommen. Zum Einsatz kam hier die MediMouse[®] (siehe Bild 7 und 8). Um die Messgenauigkeit mit der MediMouse[®] maximal zu erhöhen, wurde eine Standardisierung bei der Durchführung der Messung festgelegt: Für die Messung der **Inklination** sowie des **Kyphosewinkels** der Brust- und Lendenwirbelsäule im Stand wurde die MediMouse[®] an den zuvor markierten Punkt vom siebten Halswirbel angesetzt und paravertebral bis zum vorher markierten Punkt am ersten Steißwirbel abgerollt. Der Proband musste dafür seinen Oberkörper entkleiden. Anschließend bekam der Proband den Auftrag, sich maximal nach vorne zu beugen, Arme und Kopf hängen zu lassen und die Knie gestreckt zu halten. In dieser Position wurde die MediMouse[®] erneut wie weiter oben beschrieben über den Rücken abgerollt. Bei der Messung der Wirbelsäulenextension sollte der Proband seine Hände in die Taille

stemmen, um sich daraufhin so weit, wie es ihm möglich war, nach hinten zu recken. Auch hierbei wurde darauf geachtet, dass er die Knie gestreckt hielt.

3.2.2 Erfassung bekannter Sturzrisikofaktoren

Während der Patientenuntersuchung wurden in Form eines Interviews Daten gesammelt und auf dem Patientendatenblatt vermerkt (siehe Anhang), die in der Literatur als Risikofaktoren für Stürze bekannt sind und als bewiesen gelten. Tabelle 11 im Kapitel 4.1 gibt einen Überblick über die Ergebnisse dieser Datensammlung.

Die **Visusbestimmung** wurde mit Hilfe einer Rosenbaum-Karte durchgeführt. Die handliche Sehtafel ist eine verkleinerte Ausgabe der Snellen-Sehprobentafel zur Untersuchung der Sehschärfe in der Nähe. Sie wurde unter guter Beleuchtung und mit üblicher Brille binokular im Abstand von 35 cm vor die Augen des Patienten gehalten. Die Probanden mussten dabei Öffnungen von unterschiedlich großen Cs (z. B. links, rechts, oben, unten) sowie eine Zahlenfolge erkennen und laut ansagen können. Ein Visuswert von $\geq 0,2$ gilt hierbei als ausreichende Sehleistung.

Der **Grad der körperlichen Aktivität** wurde mit Hilfe des Fragebogen PASE ermittelt (siehe Kapitel 2.5.3). Er besteht aus acht Fragen mit 14 Unterfragen, die die in dieser Altersgruppe alltäglichen körperlichen Aktivitäten wie Garten- und Haushaltstätigkeiten oder auch sportliche Leistungen umfassen. Der PASE kann sowohl als Telefoninterview oder persönliches Interview als auch als selbstauszufüllender Fragebogen verwendet werden. Aus Gründen der Praktikabilität wurde hierbei ebenfalls die Interview-Form angewandt. Der Grad der körperlichen Aktivität wird über eine von den Autoren des Testverfahrens eigens bestimmte Gewichtung der einzelnen Aktivitäten errechnet und zu einem Punktwert (*Score*) zusammengefasst (134). Dieser Gesamtscore wird in fünf Kategorien eingeteilt in der Spannbreite von „sehr wenig körperliche Aktivität“ über „mäßige körperliche Aktivität“ bis hin zu „sehr viel körperliche Aktivität“. Punktwerte von 71-110 Punkten bedeuten „mäßige körperliche Aktivität“.

Gravierende kognitive Einschränkungen galten im Vorhinein als Ausschlusskriterium und wurden deshalb in der Untersuchung nicht explizit beispielsweise mit einem spezifischen Demenztest (z. B. Uhren-Test, *Mini-Mental-Status-Test*) evaluiert. Es wurde davon ausgegangen, dass einerseits Demenzerkrankte ohnehin nicht ohne Begleitperson zur Untersuchung erschienen wären, die man nach einer solchen Diagnose hätte fragen können. Andererseits wurde darauf geachtet, ob der Proband

während seiner eingehenden Untersuchung Kommandos Folge leisten kann und ein Verständnis sowie Aufmerksamkeit während des Gespräches zeigt.

Nach der körperlichen Untersuchung sollte der Proband anhand einer VAS einschätzen (siehe Abbildung 10), wie hoch sein **aktueller Schmerz**, wenn er denn einen gehabt hatte, während der Halte- und Bewegungsmessungen an der Wirbelsäule und/ oder dem restlichen Bewegungssystem war.

Zudem sollte er angeben, ob er während der Testung einen **Schwindel** bemerkt hatte oder ob es **andere Einflüsse** gegeben hat, die eventuell die aktuellen Untersuchungen seiner Meinung nach beeinflusst haben könnten (z. B. Trauerfall, schlecht geschlafen, Zeitdruck).

3.2.3 Sturzrisikotests

3.2.3.1 *Timed-Up-and-Go Test*

Bei der Durchführung des **TUG Test** (siehe Kapitel 2.5.3) wird die Zeit gestoppt, wie lange der Proband benötigt, um aus einem Stuhl mit Armlehnen aufzustehen und eine Gehstrecke von drei Metern in seiner gewohnten Gehgeschwindigkeit zu gehen, eine 180 Grad Drehung zu machen, zum Stuhl zurück zu kehren und sich wieder hin zu setzen. Eine Dauer von mehr als 12 Sekunden entspricht einer Einschränkung der Gangsicherheit und des dynamischem Gleichgewichts (128). Der Proband soll seine normalen Schuhe tragen und darf gewohnte Hilfsmittel verwenden (Stock, Rollator etc.). In der Literatur finden sich verschiedene Angaben zu den erlaubten Gehgeschwindigkeiten: a.) der Patient soll in seinem gewohnten Tempo gehen oder b.) er soll so schnell gehen (ohne zu rennen) wie es noch sicher möglich ist. In der vorliegenden Untersuchung wurde Variante a.) angewendet, um ein möglichst alltagsähnliches Bild zu erhalten.

3.2.3.2 **Tinetti Test**

Beim **Tinetti Test** (siehe Kapitel 2.5.3) wird anhand 16 unterschiedlicher Aktivitäten das statische und dynamische Gleichgewicht sowie Gangbild bewertet. Jede Aktivität, wie beispielsweise das Aufstehen, die unmittelbare Stehbalance oder auch die Schrittlänge und Rumpfstabilität, wird hinsichtlich ihrer Ausführung anhand vorgegebener Kriterien beurteilt und mit 0 bis 2 Punkten bewertet. Der Test ist unterteilt in die

Subskalen Gleichgewicht und Gang. Der Maximalscore beträgt 28 Punkte. Ein Punktwert von unter 20 bedeutet, der Proband hat ein erhöhtes Sturzrisiko (126).

3.2.3.3 *Chair-Rising Test*

Beim **Chair-Rising Test** (siehe Kapitel 2.5.3) wird die Zeit in Sekunden und Zehntelsekunden mit einer Stoppuhr gemessen, wie lange der Proband braucht, um so schnell wie möglich fünfmal aus einem Stuhl üblicher Höhe (ca. 46 cm Sitzhöhe) aufzustehen. Es wird darauf geachtet, dass sich der Proband bis zu seiner objektiv üblichen Streckung in Hüfte und Knien aufrichtet. Ein Abstützen der Arme auf den Knien oder Armlehnen ist nicht gestattet, so dass eine Verschränkung der Arme vor der Brust empfohlen wird. Benötigt der Probanden dafür länger als elf Sekunden oder ist es einem Probanden gar nicht erst möglich, fünfmal aufzustehen, gilt der Test als nicht bestanden und der Proband als sturzgefährdet.

3.2.3.4 Tandemstand

Bei der Durchführung des **Tandemstands** stehen die Füße in einer Linie so hintereinander, dass die Ferse des voran gesetzten Fußes die Zehenspitzen des anderen Fußes berührt. Der Proband steht mit geöffneten Augen, die Arme hält er locker am Körper. Hilfsmittel sind keine erlaubt. Schafft der Proband es, länger als zehn Sekunden diese Position einzuhalten, gilt der Test als erfüllt. Wenn der Proband unterhalb dieser zeitlichen Begrenzung eine seitliche Abweichung mit den Füßen mittels eines Schutzschrittes benötigt, kann von einer Störung der seitlichen Balance ausgegangen werden (11).

3.2.4 Statistische Auswertung

Die Herausforderung im Umgang mit der Thematik Sturz ist seine Multikausalität (siehe Tabelle 4 und 5). Eine erhöhte Sturzneigung im Alter wird nicht durch einen einzelnen Faktor bedingt, sondern durch eine individuelle Summierung verschiedenster krankheits- und altersbedingter Funktionsverluste sowie externer Störungen (z.B. Stolperfälle, Lichtverhältnisse) (10). In der Literatur wurden bisher zahlreiche Risikofaktoren für Stürze bei Älteren nachgewiesen. Allgemein anerkannt ist, dass Muskelschwäche, Multimedikation, Gleichgewichtsstörungen oder auch Visusverschlechterung das Sturzrisiko erhöhen (siehe Tabelle 4 und 5). Wie genau die einzelnen Faktoren im Zusammenhang stehen bzw. welcher Faktor welchen wie bedingt, ist noch

unklar. Zu den bekannten, in der vorliegenden Untersuchung erhobenen, Risikofaktoren zählten:

- Aktivitätslevel
- Visusminderung
- Alter
- Sturzhäufigkeit
- Einnahme von > 4 Medikamenten
- Einnahme von sturzbedingende Medikamenten
- Schwäche Oberschenkelmuskelkraft
- Störung des seitlichen Gleichgewichtes
- Gebrauch von Gehhilfen

Um den Einfluss der drei potenziellen Faktoren Wirbelsäulenstatik, Wirbelsäulenbeweglichkeit und Wirbelsäulenschmerz auf das Sturzrisiko zu untersuchen, wurden in der statistischen Berechnung deren Ergebnisse auf die der bereits bekannten Risikofaktoren adjustiert. Die wirbelsäulenbezogenen Faktoren sollten differenziert betrachtet werden, dafür wurden jeweils verschiedene Unterfaktoren bestimmt.

Die **Wirbelsäulenstatik** wurde definiert als die:

- Brustwirbelsäulenkyphose,
- Lendenwirbelsäulenlordose,
- Inklination.

Die **Wirbelsäulenbeweglichkeit** setzte sich zusammen aus der:

- Rotation,
- Lateralflexion,
- thorakale Extension-Flexion-Bewegung,
- lumbale Extension-Flexion-Bewegung.

Der Faktor **Wirbelsäulenschmerz** wurde in keine Unterfaktoren unterteilt.

An dieser Stelle wird deutlich, welche Komplexität sich hinter den hier zu untersuchenden Fragestellungen verbirgt. Eine vergleichbare Datenbreite in der Erfassung der Risikofaktoren sowie in der statistischen Berechnung und Auswertung wurde nur

in den Studien der Forschergruppe um Leveille et al. gefunden, die den Zusammenhang zwischen muskuloskeletalen Schmerzen von älteren Frauen, allerdings ohne Osteoporose, und dem Sturzrisiko untersuchten (14, 15).

Die statistische Berechnung erfolgte mit der **linearen Regression**. Das Sturzrisiko, gemessen einmal mit dem Tinetti Test (siehe Kapitel 3.2.3.2) und auch mit dem TUG Test (siehe Kapitel 3.2.3.1), gilt in der Berechnung der linearen Regression als Zielvariable und abhängiges y-Merkmal. Bewusst wurden zwei verschiedene Tests gewählt, um das Sturzrisiko von unterschiedlichen Seiten her zu beleuchten. Als unabhängiges x-Merkmal gelten die in der Literatur bekannten, wissenschaftlich nachgewiesenen Risikofaktoren (siehe Tabelle 4 und 5), sowie die potentiellen hier zu untersuchenden Risikofaktoren (Wirbelsäulenstatik, Wirbelsäulenbeweglichkeit, Wirbelsäulenschmerz).

Abbildung 18 gibt einen graphischen Überblick über die Vorgehensweise. Um das anfallende Datenmaterial zu ordnen, wurden **fünf Regressionsmodelle** entwickelt:

In **Modell 1** flossen in die Berechnung der linearen Regression nur alle bereits bekannten Risikofaktoren mit ein.

In die **Modelle 2- 4** wurden zusätzlich zu den bekannten auch die potenziellen Risikofaktoren mit in die Berechnung mit einbezogen (Modell 2: WS Schmerz, Modell 3.1- 3.5: WS Statik, Modell 4.1- 4.6: WS Beweglichkeit). Eine weiter differenzierte Aufteilung dieser Modelle 2-4 findet sich zur besseren Übersicht in Abbildung 19 wieder.

In **Modell 5** wurden in die Berechnung der linearen Regression zusätzlich zu den bereits bekannten Risikofaktoren diesmal diejenigen potenziellen Risikofaktoren mit einbezogen, deren Ergebnisse in Modell 2-4 kleiner als das Signifikanzniveau waren. Das Ziel hierbei war zu untersuchen, welches der Variablen bei gemeinsamer Betrachtung den statistisch größten Einfluss auf das Sturzrisiko hatte.

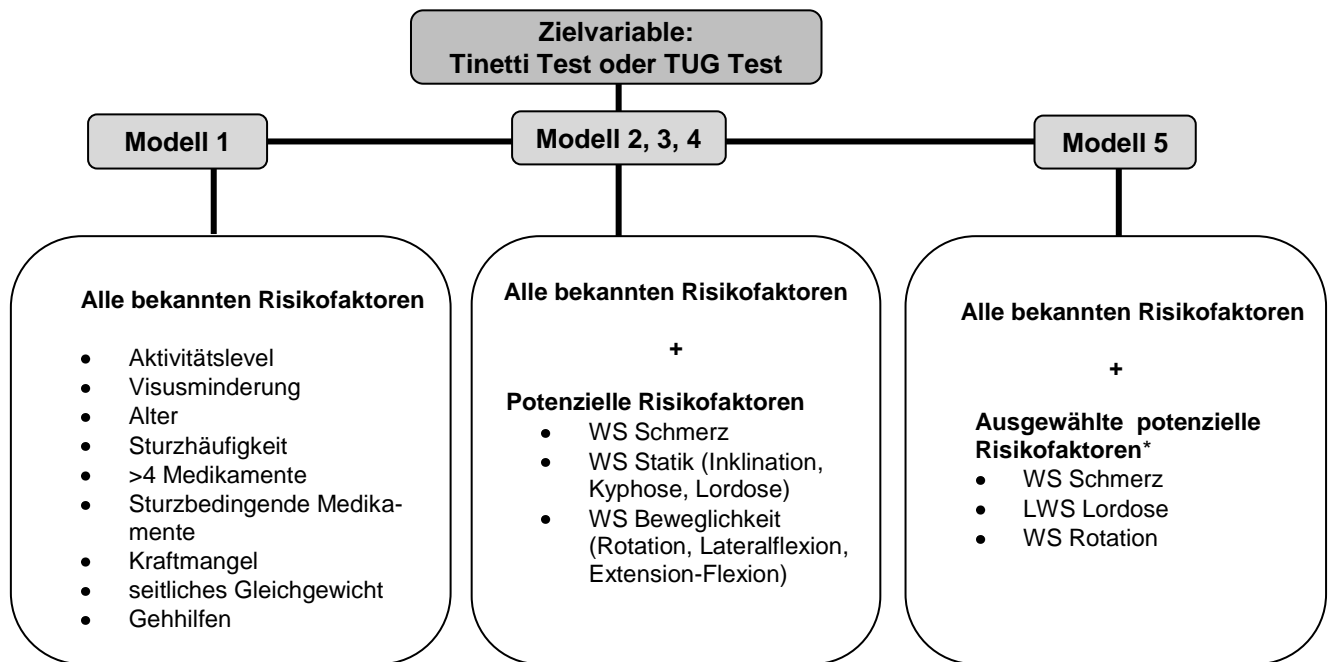


Abbildung 18: Berechnung der Linearen Regressionen (Modell 1-5)

TUG: Timed-Up-and-Go Test, WS: Wirbelsäule, LWS: Lendenwirbelsäule,

* mit einem p-Wert kleiner als das Signifikanzniveau (in Modell 2, 3, 4)

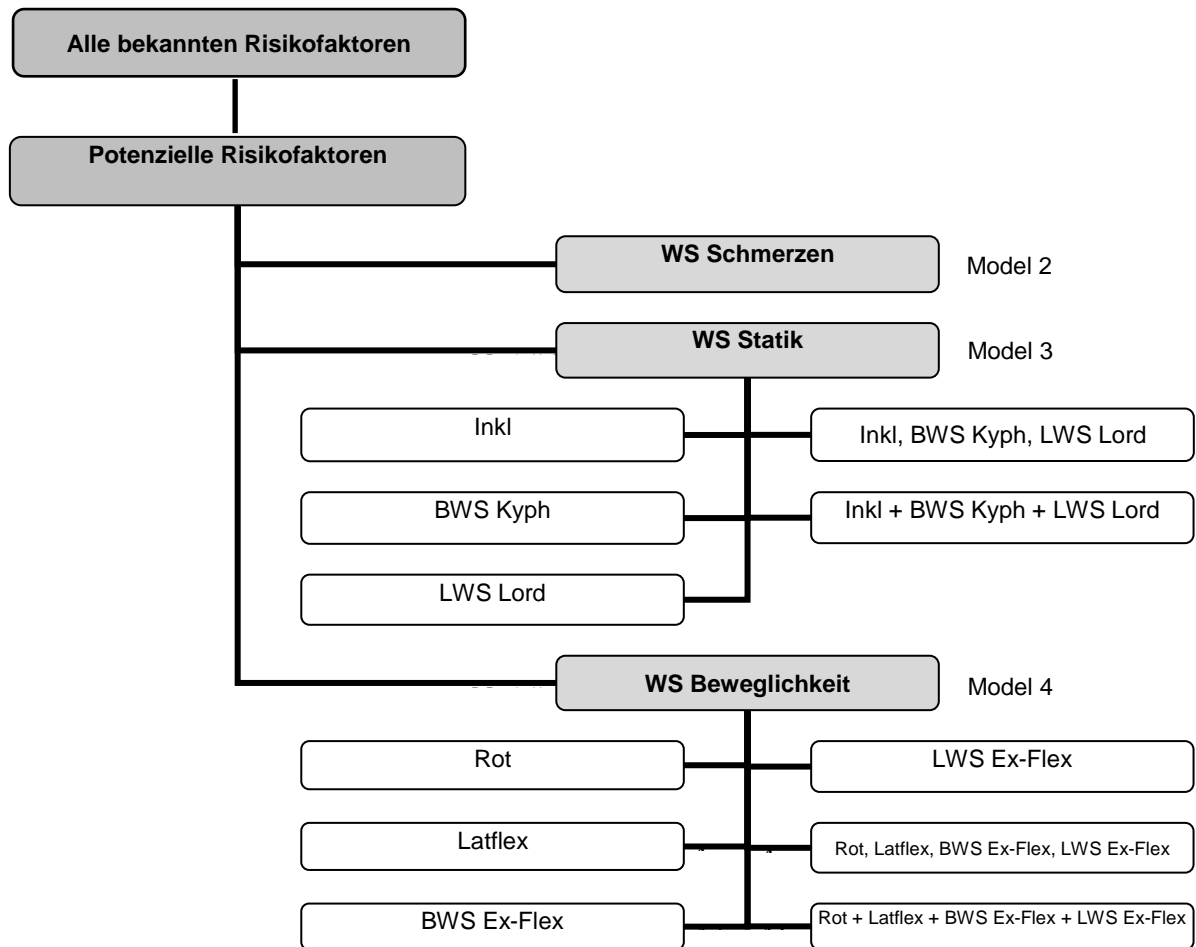


Abbildung 19: Aufteilung der Linearen Regressionen der Modelle 2-4

WS: Wirbelsäule, Inkl: Inklination, Kyph: Kyphose, Lord: Lordose, BWS: Brustwirbelsäule, LWS: Lendenwirbelsäule, Rot: Rotation, Latflex: Lateralflexion, Ex-Flex: Extension-Flexion

Die Aufgabe der Regressionsanalyse besteht darin, die Art des Zusammenhangs zwischen zwei oder mehreren Merkmalen zu beschreiben. Die einfachste Form der Regressionsanalyse ist die Beschreibung des Zusammenhangs durch eine Gerade. Sie ist eindeutig beschrieben durch die Steigung, deren Parameter a und b auch Regressionskoeffizient genannt werden:

$$b = \frac{S_{xy}}{S_x^2} \quad \text{und den y-Achsenabschnitt} \quad a = y - bx$$

Formel 1: Regressionskoeffizient

Dabei bezeichnet s_{xy} die Kovarianz, die ein Maß für das „Miteinander Variieren“ zweier quantitativer Merkmale ist. Sie gibt Auskunft darüber, ob deren Zusammenhang gleich- oder gegensinnig ist. Wenn $s_{xy} > 0$ ist die Steigung der Regressionsgeraden positiv und der Zusammenhang gleichsinnig. Bei $s_{xy} < 0$ ist die Steigung negativ und es besteht ein gegensinniger Zusammenhang zwischen den Merkmalen. Eine Kovarianz bei 0 zeigt, dass kein linearer Zusammenhang nachzuweisen ist. s_x^2 steht für die Varianz der unabhängigen x-Merkmale (153). Ein wichtiger Wert in der Beurteilung der Schätzung durch die Regressionsgeraden ist das korrigierte R^2 , das Bestimmtheitsmaß. Es gibt die Güte bzw. Verlässlichkeit der Schätzung an. Das R^2 ist das Produkt aus dem Korrelationskoeffizienten zum Quadrat und wird allgemein als relevant eingeschätzt, wenn er $\geq 0,3$ ist. Zudem besagt dieser Wert, wie viel Prozent der Varianz des abhängigen y-Merkmals (Sturzrisiko) durch das Modell der Regressionsgeraden (demnach durch die bekannten und potenziellen Risikofaktoren) erklärt werden können (153).

Dieser Arbeit liegen drei **Hauptfragestellungen** zu Grunde (siehe Einleitung). Mittels einer konfirmatorischen Analyse sollen folgende drei theoretisch angenommenen Hypothesen beantwortet werden:

1. Schmerzen an der Wirbelsäule beeinflussen das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten.
2. Die Wirbelsäulenstatik (Inklination) beeinflusst das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten.
3. Die Wirbelsäulenbeweglichkeit (Summenscore) beeinflusst das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten.

Daher ergibt sich hierfür nach einer Bonferroni-Korrektur ein lokales Signifikanzniveau von $\alpha = 5 \% / 3 = 0,017$.

Die **Nebenfragestellungen** sollen mittels einer explorativen Analyse bearbeitet werden:

1. Hat der Wirbelsäulenschmerz einen Einfluss auf das Sturzrisiko (gemessen mit Tinetti Test und TUG Test) von Osteoporosepatienten?

2. Haben die Dimensionen der Wirbelsäulenstatik (Inklination, Kyphose, Lordose) einen Einfluss auf das Sturzrisiko (gemessen mit Tinetti Test und TUG Test) von Osteoporosepatienten?
3. Haben die Dimensionen der Wirbelsäulenbeweglichkeit (Rotation, Lateralflexion, Extension-Flexion) einen Einfluss auf das Sturzrisiko (gemessen mit Tinetti Test und TUG Test) von Osteoporosepatienten?

Im Rahmen der explorativen Analyse wird das Signifikanzniveau nicht korrigiert. Bei $p < 0,05$ wertet die Autorin das Ergebnis als statistisch auffällig.

Die Stichprobengröße wurde durch das Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI) der Universitätsmedizin Mainz mit Hilfe des Programms nQuery[®] berechnet. Mit einer Power von 80 % ergab sich eine Stichprobengröße von $n = 98$. Von dem Modell der bekannten Einflussgrößen auf das Sturzrisiko wird angenommen, dass das Bestimmungsmaß 0.5 beträgt. Unter Hinzunahme der potenziellen Risikofaktoren wird ein Anstieg des Bestimmtheitsmaßes von 0.05 angenommen. Die Daten wurden mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS Version 20.0 ausgewertet.

4 Ergebnisse

4.1 Deskriptive Statistik

Wie Tabelle 11 zu entnehmen ist, berichteten von den 100 untersuchten Probanden dieser Studie 21 % von mindestens einem Sturz im letzten halben Jahr. Der überwiegende Teil (70 %) stürzte keinmal. Gehhilfen in Form eines Spazierstockes benutzen 11 % der Probanden. Der Test zur Visuskraft belegte bei einem Drittel eine Sehschwäche (35 %), wobei weit mehr Frauen (37,9 %) im Vergleich zu Männern davon betroffen waren. Ebenfalls ein Drittel der Probanden (32 %) gaben an, pro Tag mehr als vier Medikamente einzunehmen. Im Geschlechterunterschied lagen hier die Männer mit 46,2 % deutlich vor den Frauen (29,9 %). Sturzbedingende Medikamente wie Psychopharmaka, Sedativa, Antiarrhythmika und Diuretika nahmen jedoch im Gegensatz dazu mehr Frauen zum Zeitpunkt der Testung ein (18,4 %). Knapp die Hälfte der Probanden (40 %) waren mäßig körperlich aktiv. Unter diese Kategorie fielen auch die meisten Frauen (41,4 %), von denen die meisten an Gymnastikgruppen teilnahmen, Einkäufe zu Fuß oder per Fahrrad erledigten, leichte Garten- und Hausarbeiten erledigten. Der überwiegende Teil der männlichen Probanden war viel körperlich aktiv (38,5 %), was sich in regelmäßigem Wandern, Gartenarbeit und teils beruflicher (ehrenamtlicher Tätigkeit) widerspiegelte. Die Frage nach Schmerzen an der Wirbelsäule und den Extremitäten während der Testung bejahten Frauen deutlich häufiger als Männer. Insgesamt litten ein Drittel der Probanden an aktuellen leichten Schmerzen an der Wirbelsäule (32 %), jedoch nur 13 % an den Extremitäten, vorwiegend am Kniegelenk. Der Medianwert der Schmerzabgaben auf der VAS lag bei 3, was auf „leichte Schmerzen“ hindeutet.

		Frauen n = 87	Männer n = 13	Gesamt n = 100
Anzahl Stürze in den letzten 6 Monaten	0 Stürze	62 (71,3 %)	8* (61,5 %)	70
	1 Sturz	18 (20,7 %)	3* (23,1 %)	21
	2 Stürze	5 (5,7 %)	1* (7,7 %)	6
	4 Stürze	1 (1,1 %)	1* (7,7 %)	2
	6 Stürze	1 (1,1 %)	0	1
Benutzung Gehhilfen		10 (11,5 %)	1* (7,7 %)	11
Visusminderung		33 (37,9 %)	2* (15,4 %)	35
Medikamenteneinnahme (>4 pT)		26 (29,9 %)	6* (46,2 %)	32
Sturzbedingende Medikamente		16 (18,4 %)	1* (7,7 %)	17
Grad der körperlichen Aktivität	Grad 1*	11 (12,6 %)	0	11
	Grad 2*	16 (18,4 %)	4* (30,8 %)	20
	Grad 3*	36 (41,4 %)	4* (30,8 %)	40
	Grad 4*	24 (27,6 %)	5* (38,5 %)	29
Während Testung Schmerzen an der Wirbelsäule?		30 (34,5 %) (median= 3)	2* (15,4 %) (median= 5)	32
Während Testung Schmerzen an Extremitäten?		12 (13,8 %) (median = 3)	1* (7,7 %) (median = 3)	13
Während Testung Schwindel?		0	0	0
Während Testung andere Einflussfaktoren?		0	0	0

Tabelle 11: Überblick über sturzunabhängige Risikofaktoren

* Grad 1: sehr wenig körperliche Aktivität, Grad 2: wenig körperliche Aktivität, Grad 3: mäßige körperliche Aktivität, Grad 4: viel körperliche Aktivität

*Geschlechterunterschied $p > 0,05$

Die Ergebnisse der motorischen Tests zur Bestimmung des Sturzrisikos sind in Tabelle 12 dargestellt. Die Hälfte der Probanden (53 %) zeigte einen Kraftmangel der Oberschenkel gemessen mit dem *Chair-Rising* Test. Frauen hatten deutlich häufiger eine Muskelschwäche als Männer (Frauen: 55,2 %, Männer: 38,5 %, $p = 0,283$). Auch zeigten die weiblichen Probanden häufiger eine Störung der seitlichen Balance gemessen mit dem Tandemstand als die männlichen (Frauen: 39,1 %, Männer: 30,8 %, $p = 0,57$). Mit einer Übereinstimmung von 87 % zwischen den Messergebnissen des TUG Tests und Tinetti Test litten ein Fünftel aller Probanden unter einer Gangunsicherheit sowie Störung des dynamischen bzw. statischen Gleichgewichtes (TUG: 19 %, Tinetti: 20 %). Beim TUG Test zeigte sich dies häufiger bei den Frauen als den Männern (Frauen: 19,5 %, Männer: 15,4 %, $p = 0,717$). Gemessen mit dem Tinetti Test stellte es sich interessanterweise umgekehrt dar (Männer: 23,1 %, Frauen: 19,5 %, $p = 0,788$).

Motorische Tests	Getestete Fähigkeit	Frauen (n = 87)				Männer (n = 13)				Gesamt (n = 100)			
		Werte (MW)	SD	range	Test positiv	Werte (MW)	SD	range	Test positiv	Werte (MW)	SD	range	Test positiv
Chair-Rising Test (Sekunden)	Mangel der Oberschenkelkraft	12,2	5,6	0-40	55,2% ¹	12,1*	7,7	6-36	38,5% ¹	12,2	5,9	0-40	53% ¹
Tandemstand (Sekunden)	Störung der seitlichen Balance	11,1	5,3	0-15	39,1% ²	10,4*	6,2	1-15	30,8% ²	11,0	5,4	0-15	38% ²
Timed-Up-and-Go Test (Sekunden)	Gangunsicherheit, dynamisches Gleichgewicht	9,8	4,1	5-29	19,5% ³	9,9*	0,6	6,1-24	15,4% ³	9,8	4,2	5-29	19% ³
Tinetti Test (Punkte)	Gangunsicherheit, dynamisches und statisches Gleichgewicht	24 ⁴	4	12-28	19,5% ⁴	24*	5	12-28	23,1% ⁴	24	4	12-28	20% ⁴

Tabelle 12: Ergebnisse der motorischen Tests zur Bestimmung des Sturzrisikos

MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung, ¹cutoff-Wert ≥11 Sekunden, ²cutoff-Wert ≥10 Sekunden, ³cutoff-Wert ≥12 Sekunden, ⁴cutoff-Wert ≤20 Punkte

* Geschlechterunterschied $p > 0,05$

Die Ergebnisse der statischen und dynamischen Wirbelsäulenvermessung sind in der Tabelle 13 und 14 aufgeführt. Für die einzelnen Bewegungsrichtungen wurde stets die komplette Bewegungsamplitude von rechts nach links bzw. vorne nach hinten aufsummiert, so dass das gesamte Bewegungsausmaß in einer räumlichen Ebene ermittelt wurde.

	MW	SD	range	MW	SD	range	MW	SD	range
	Frauen, n = 87			Männer, n = 13			Gesamt, n = 100		
WS									
Lateralflexion (°)	70	21	20-110	75*	28	15-122	70	22	15-122
WS									
Rotation (°)	57	19	20-115	62*	17	20-80	58	19	20-115
BWS									
Extension-Flexion (°)	14	15	(-)19-43	16*	14	(-)2-53	14	14	(-)19-53
LWS									
Extension-Flexion (°)	44	18	(-)12-78	41*	18	13-78	44	18	(-)12-78

Tabelle 13: Ergebnisse der Messung der Wirbelsäulenbeweglichkeit

MW: Mittelwerte, SD: Standardabweichung, WS: Wirbelsäule, BWS: Brustwirbelsäule, LWS: Lendenwirbelsäule

*Geschlechterunterschied $p > 0,05$

	MW	SD	range	MW	SD	range	MW	SD	range
	Frauen, n = 87			Männer, n = 13			Gesamt, n = 100		
BWS Kyphose (°)	55	12	9-91	57*	10	34-75	55	12	9-91
LWS Lordose (°)	(-)26	13	(-)49-26	(-)19*	10	(-)38-(-)2	(-)25	13	(-)49-26
WS Inklination (°)	2	5	(-)7-17	1*	1	(-)1-4	2	5	(-)7-17

Tabelle 14: Ergebnisse der Messung der Wirbelsäulenstatik

BWS: Brustwirbelsäule, LWS: Lendenwirbelsäule, WS: Wirbelsäule

*Geschlechterunterschied $p > 0,05$

Es zeigt sich in beiden Tabellen, dass weder in der spinalen Statik noch Beweglichkeit ein Geschlechterunterschied vorliegt. Die *range* der erhobenen Messdaten hat eine große Spannweite und verdeutlicht damit die Vielfalt im individuellen Ausmaß der Wirbelsäulenstatik und -beweglichkeit.

4.2 Beantwortung der Studienfragen

4.2.1 Beantwortung der Hauptfragestellungen (konfirmatorisch)

Die drei Hauptfragestellungen dieser Studie wurden mittels einer konfirmatorischen Analyse bearbeitet. Um die theoretisch angenommenen Hypothesen verifizieren zu können, muss hier das Signifikanzniveau $p < 0,017$ gelten (siehe Kapitel 3.2.4). Das Sturzrisiko wurde mittels des Tinetti Tests evaluiert (siehe Kapitel 2.5.3 und 3.2.3.2). Als statistische Berechnungsmethode wurde die lineare Regressionsanalyse herangezogen. Einen Überblick über die Ergebnisse der einzelnen Regressionsmodelle gibt Tabelle 15. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse genauer beschrieben.

Modell	Einflussfaktoren		korrigiertes R^2	Steigung	Standardfehler	p-Wert
2	bekannte RF +	WS Schmerz	0,678	-1,552	0,593	0,010*
3.1	bekannte RF +	WS Inklination	0,614	-0,009	0,068	0,892
		Summenscore				
4.6	bekannte RF +	WS Beweglichkeit	0,640	0,015	0,006	0,013*

Tabelle 15: Potenzielle Risikofaktoren und ihr Einfluss auf das Sturzrisiko (gemessen mit Tinetti Test)

korrigiertes R^2 : Wie viel % der Variabilität wird durch die Variable erklärt, RF: Risikofaktoren, WS: Wirbelsäule, BWS: Brustwirbelsäule, LWS: Lendenwirbelsäule

* p-Wert < Signifikanzniveau (für die konfirmatorische Analyse gilt $p < 0,017$ als statistisch signifikant)

4.2.1.1 Einfluss des Wirbelsäulenschmerzes auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten

Mit einem p-Wert von 0,010 beeinflusst der Wirbelsäulenschmerz, neben den bekannten Risikofaktoren, das Sturzrisiko statistisch signifikant (siehe Tabelle 15, Modell 2 und Regressionstabellen im Anhang). Somit kann die theoretisch angenommene Hypothese, dass der Wirbelsäulenschmerz das Sturzrisiko von Osteoporosepatienten beeinflusst, bestätigt werden. Betrachtet man die bereits bekannten Risikofaktoren in diesem Modell, zeigen nur die Faktoren „Störung der seitlichen Stabilität“ und „Alter“ einen stärkeren statistischen Einfluss auf das Sturzrisiko ($p = 0,000$, $p =$

0,000) (siehe Regressionstabellen im Anhang). An der Steigung der Regressionsgerade (-1,552) kann man die klinische Bedeutsamkeit des Modells 2 ablesen. Dies bedeutet, dass eine Verstärkung des Schmerzes um eine Skaleneinheit das Punktergebnis des Tinetti Tests um anderthalb Punktwert erniedrigt. Die Varianz des Sturzrisikos kann zu 68% durch das Modell „bekannten Risikofaktoren + WS Schmerz“ erklärt werden (korrigiertes $R^2 = 0,678$). Die verbleibenden 32 % sind durch andere, in diesem Modell nicht berücksichtigte Einflüsse verursacht.

Das Boxplot-Diagramm, das das Verhältnis zwischen dem Wirbelsäulenschmerz und den Ergebnissen des Tinetti Tests graphisch darstellt, zeigt die Auswirkung eines geringen bzw. nicht vorhandenen Schmerzes (VAS 0-3, n = 85) auf den Tinetti Test. Punktwerte ab 20 weisen auf ein gutes Gleichgewicht und sicheres Gangbild hin, Punktwerte kleiner gleich 20 auf ein Sturzrisiko (siehe Abbildung 20). Für das Diagramm wurden die Messergebnisse des Wirbelsäulenschmerzes, der mit der VAS gemessen wurde, in Tertile eingeteilt. Der hohe Punktwert des Tinetti Tests beim VAS Skalenwert 7 kann als Einzelfall gezählt werden, da er nur bei n = 1 erzielt wurde.

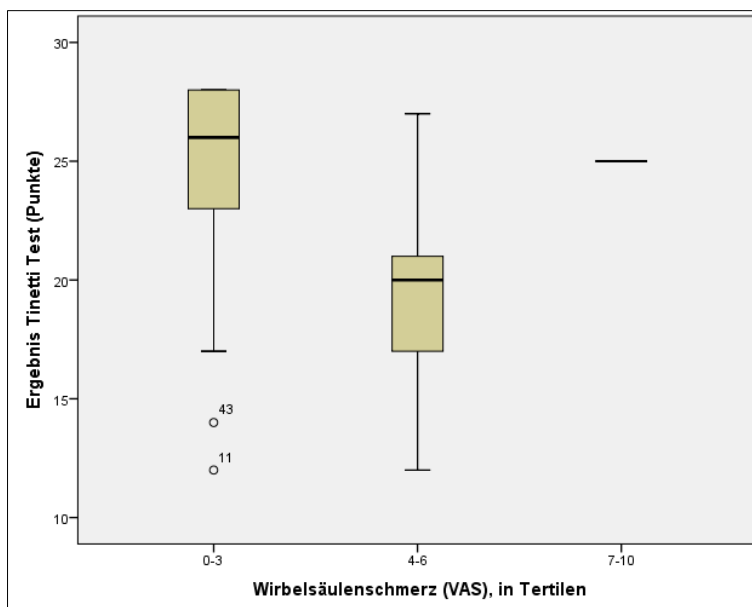


Abbildung 20: Auswirkung des Wirbelsäulenschmerzes auf das Ergebnis des Tinetti Tests

4.2.1.2 Einfluss der Wirbelsäulenstatik (Inklination) auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten

Die Wirbelsäulenstatik wird in dieser Berechnung durch die Inklination repräsentiert. Mit einem p-Wert von 0,892 konnte nicht nachgewiesen werden, dass die Wirbelsäuleninklination neben den bekannten Risikofaktoren das Sturzrisiko statistisch beeinflusst (siehe Tabelle 15, Modell 3.1 und Regressionstabellen im Anhang). Die theoretisch angenommene Hypothese, dass die Wirbelsäuleninklination von Osteoporosepatienten das Sturzrisiko beeinflusst, muss demnach abgelehnt werden. Betrachtet man die bereits bekannten Risikofaktoren in diesem Modell, zeigen nur die Faktoren „Störung der seitlichen Stabilität“ und „Alter“ einen statistischen Einfluss auf das Sturzrisiko ($p = 0,000$, $p = 0,002$) (siehe Regressionstabellen im Anhang).

4.2.1.3 Einfluss der Wirbelsäulenbeweglichkeit (Summenscore der Rotation, Lateralflexion, Extension, Flexion) auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten

Die Wirbelsäulenbeweglichkeit setzt sich zusammen aus den Bewegungsrichtungen Rotation, Lateralflexion sowie Extension-Flexion. Die Beweglichkeit der Extension-Flexion wurde in der vorliegenden Studie gesondert in die der Brust- und Lendenwirbelsäule unterteilt. Summiert man alle vier Bewegungsrichtungen auf, erhält man als Einzelwert die Wirbelsäulengesamtbeweglichkeit (Summenscore WS Beweglichkeit). Mit einem p-Wert von 0,013 beeinflusst die Wirbelsäulengesamtbeweglichkeit das Sturzrisiko statistisch signifikant (siehe Tabelle 15, Modell 4.6 und Regressionstabellen im Anhang). Somit kann die theoretisch angenommene Hypothese, dass die Wirbelsäulengesamtbeweglichkeit das Sturzrisiko von Osteoporosepatienten beeinflusst, verifiziert werden. Betrachtet man die bereits bekannten Risikofaktoren in diesem Modell, zeigen nur die Faktoren „Störung der seitlichen Stabilität“ und „Alter“ einen stärkeren statistischen Einfluss auf das Sturzrisiko ($p = 0,000$, $p = 0,003$) (siehe Regressionstabellen im Anhang).

Einen graphischen Zusammenhang zwischen der Gesamtbeweglichkeit und dem Sturzrisiko bietet das Boxplot-Diagramm in Abbildung 21. Die Wirbelsäulengesamtbeweglichkeit wurde hierfür in Quartile aufgeteilt und jeweils den Punkteergebnissen des Tinetti Tests zugeordnet. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Gleichgewichtsfähigkeit und Gangsicherheit steigt (= die Punkteergebnisse des Tinetti Tests anstei-

gen, Maximalpunktwert: 28 Punkte, *cutoff*-Wert ≤ 20 Punkte), je mehr Wirbelsäulengesamtbeweglichkeit möglich ist. In der Gruppe mit der geringsten Beweglichkeit ($< 153^\circ$, $n = 24$) liegt der Medianwert bei 21 Punkten. Es erlangten 25 % einen Punktwert < 19 Punkte. Einen Punktwert von < 24 Punkten erreichten 75 % und nur ein Proband erfüllte den Maximalwert von 28 Punkten beim Tinetti Test.

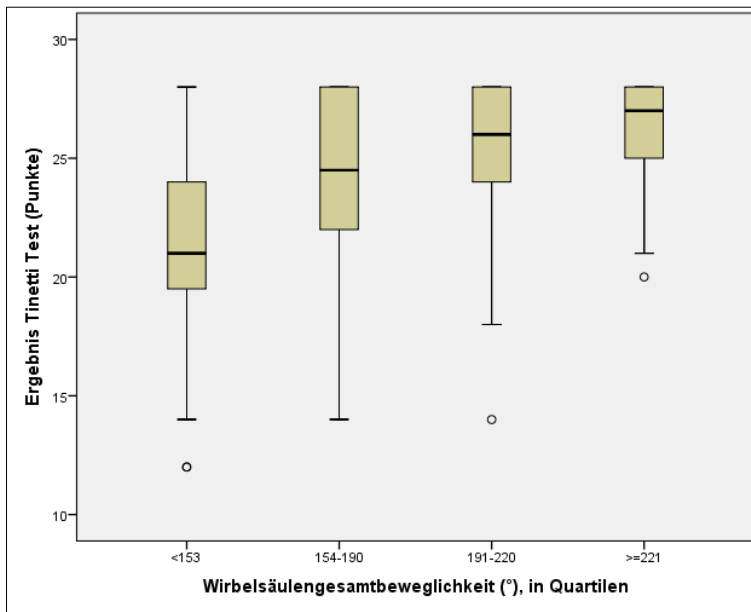


Abbildung 21: Auswirkung der Wirbelsäulengesamtbeweglichkeit auf das Ergebnis des Tinetti Tests

Tabelle 15 ist außerdem zu entnehmen, dass durch das Modell 4.6 „bekannte Risikofaktoren + Summenscore der WS Beweglichkeit“ 64 % der Varianz des Sturzrisikos erklärt werden können (korrigiertes $R^2 = 0,640$). Die verbleibenden 36 % sind durch andere, in diesem Modell nicht berücksichtigte Einflüsse verursacht worden. An der Steigung der Regressionsgerade kann man die klinische Bedeutsamkeit ablesen. Hier beträgt sie 0,015. Dies bedeutet, dass es eine Erhöhung der Wirbelsäulengesamtbeweglichkeit um 65° bedarf, um das Ergebnis des Tinetti Tests um einen Punktwert zu erhöhen.

4.2.2 Beantwortung der Nebenfragestellungen (explorativ)

Die zahlreichen Nebenfragestellungen dieser Studie wurden mittels einer explorativen Analyse bearbeitet (siehe Kapitel 3.2.4). Hier wurde das Signifikanzniveau nicht

angepasst. Ein p-Wert $< 0,05$ entspricht einer statistischen Auffälligkeit. Einen Überblick über die Ergebnisse der einzelnen Modelle der linearen Regressionsberechnungen gibt Tabelle 16. Im Anschluss an die folgende Tabelle 16 werden die Ergebnisse genauer beschrieben.

Die Modelle 2, 3.1 und 4.6 sind die der potenziellen Einflussfaktoren auf das Sturzrisiko, die mittels der konfirmatorischen Analyse bearbeitet wurden. Sie wurden bereits in Tabelle 15 dargestellt und der Übersicht halber nicht erneut mit aufgelistet. Genauso wurde in Tabelle 15 auf die Darstellung der Ergebnisse des Modell 1 verzichtet. Es zeigt die Einflüsse der bereits bekannten Risikofaktoren auf das Sturzrisiko der in dieseR Studie eingeschlossenen Probanden. Die Ergebnisse des Modell 1 werden im Kapitel 4.2.2.4 gesondert behandelt und können Tabelle 17 entnommen werden.

Modell	Einflussfaktoren	korrigiertes R ²	Steigung	Standardfehler	p-Wert
3.2	alle bekannten RF + BWS Kyphose	0,617	0,017	0,022	0,452
3.3	alle bekannten RF + LWS Lordose	0,628	-0,039	0,021	0,072
3.4	alle bekannten RF + WS Inklination	0,620	0,021	0,071	0,774
	BWS Kyphose		-0,002	0,025	0,922
	LWS Lordose		-0,041	0,025	0,103
3.5	alle bekannten RF + Summenscore WS Statik	0,624	0,019	0,013	0,138
4.1	alle bekannten RF + WS Rotation	0,637	0,035	0,015	0,019*
4.2	alle bekannten RF + WS Lateralflexion	0,628	0,024	0,013	0,070
4.3	alle bekannten RF + BWS Extension-Flexion	0,614	-0,002	0,019	0,913
4.4	alle bekannten RF + LWS Extension-Flexion	0,664	0,026	0,015	0,089
4.5	alle bekannten RF + WS Rotation	0,680	0,027	0,019	0,165
	WS Lateralflexion		0,006	0,016	0,692
	BWS Extension-Flexion		0,007	0,020	0,733
	LWS Extension-Flexion		0,017	0,016	0,294
5	alle bekannten RF + WS Schmerz	0,657	-0,381	0,155	0,016*
	WS Rotation		0,027	0,015	0,067

Tabelle 16: Einflussfaktoren auf das Sturzrisiko (gemessen mit Tinetti Test)

RF: Risikofaktoren, korrigiertes R²: Wie viel % der Variabilität der Zielvariable wird durch dieses Modell erklärt, WS: Wirbelsäule, BWS: Brustwirbelsäule, LWS: Lendenwirbelsäule

* p-Wert < Signifikanzniveau (für die explorative Analyse gilt p < 0,05 als statistisch auffällig)

Anmerkung der Autorin: Die Ergebnisse des Modells 1 werden gesondert beschrieben und können Tabelle 17 entnommen werden. Die Ergebnisse der Modelle 2, 3, 1 und 4,6 wurden bereits beschrieben und können der Tabelle 14 entnommen werden.

4.2.2.1 Einfluss des Wirbelsäulenschmerzes auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten

Wie bereits weiter oben in der konfirmatorischen Analyse erläutert, zeigt der Wirbelsäulenschmerz in der Einzelanalyse (siehe Tabelle 15, Modell 2, p-Wert = 0,010) einen statistisch signifikanten Einfluss auf das Sturzrisiko von Osteoporosepatienten (gemessen mit dem Tinetti Test). Wie stabil der Einfluss des Wirbelsäulenschmerzes auf das Sturzrisiko ist, zeigt auch das Ergebnis von Modell 5 (siehe Tabelle 16). Hier wurden zusätzlich zu den bekannten Risikofaktoren die zwei potenzielle Risikofaktoren, die bei den vorangegangenen Regressionsanalysen unter das festgelegte Signifikanzniveau fielen, gemeinsam in die Berechnung der linearen Regression eingeschlossen. Mit einem p-Wert von 0,016 zeigt nur der Wirbelsäulenschmerz seinen statistisch auffälligen Einfluss.

4.2.2.2 Einfluss der Dimensionen der Wirbelsäulenstatik (Inklination, Kyphose, Lordose) auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten

Die Wirbelsäulenstatik setzt sich zusammen aus den Dimensionen Inklination, Brustwirbelsäulenkyphose und Lendenwirbelsäulenlordose. Summiert man alle drei Dimensionen auf, erhält man als Einzelwert die Wirbelsäulengesamtstatik (Summenscore WS Statik). Misst man das Sturzrisiko mit dem Tinetti Test, hat die Wirbelsäulenstatik in keiner ihrer Dimensionen einen statistischen Einfluss (siehe Tabelle 15, Modell 3.2-3.5).

4.2.2.3 Einfluss der Dimensionen der Wirbelsäulenbeweglichkeit (Rotation, Lateralflexion, Extension-Flexion) auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten

Wie bereits weiter oben in der konfirmatorischen Analyse erläutert, beeinflusst die Wirbelsäulengesamtbeweglichkeit mit einem p-Wert von 0,013 das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) adjustiert auf alle bekannten Risikofaktoren statistisch signifikant (siehe Tabelle 15, Modell 4.6). Betrachtet man nun die einzelnen Bewegungsrichtungen gesondert, erkennt man, dass zusätzlich zu den bekannten Risikofaktoren nur die Wirbelsäulenrotation das Sturzrisiko signifikant auffällig beeinflusst (siehe Tabelle 16, Modell 4.1, $p = 0,019$). Die Größe des statistischen Einflusses auf das Sturzrisiko wurde in Modell 5 untersucht (siehe Tabelle 16). Hier wurden zusätz-

lich zu den bekannten Risikofaktoren die zwei potenzielle Risikofaktoren, die bei den vorrangegangenen Regressionsanalysen unter das festgelegte Signifikanzniveau fielen, gemeinsam in die Berechnung der linearen Regression eingeschlossen. Dadurch, dass der Wirbelsäulenschmerz einen so großen Einfluss auf das Sturzrisiko hat, verliert hier zwar die Wirbelsäulenrotation statistisch gesehen ihre Auffälligkeit, ist aber mit einem p-Wert von 0,067 nicht weit von $p < 0,05$ entfernt. Werden zusätzlich zu den bekannten Risikofaktoren alle vier Bewegungsrichtungen gemeinsam in die Regressionsanalyse eingeschlossen (siehe Tabelle 16, Modell 4.5) verliert die Rotation ihre statistische Auffälligkeit und der p-Wert vergrößert sich stark. In diesem Modell sind zu viele Einzelfaktoren mit gleichartigen Qualitäten (Rotation, Lateralflexion, BWS und LWS Extension-Flexion), die alle denselben Einflussfaktor (in dem Falle Wirbelsäulenbeweglichkeit) ausdrücken. Dadurch kann jeder einzelne Faktor viel weniger Einfluss nehmen. Abbildung 22 zeigt graphisch, wie die Punktwerte des Tinetti Tests bei größer werdender Wirbelsäulenrotation ansteigen. Je mehr Rotation möglich ist, desto besser sind das Gleichgewicht und die Gangsicherheit. Beim *cutoff*-Wert von ≤ 20 Punkte beim Testergebnis des Tinetti Tests besteht ein Sturzrisiko. Die größte Streuung der Wirbelsäulenrotation liegt zwar bei dem niedrigsten Quartil ($< 50^\circ$, $n = 24$), aber auch hier wird der *cutoff*-Wert nur von wenigen unterschritten (Medianwert = 22 Punkte). Nur 25 % der Probanden in diesem Quartil erlangten einen Punktwert ≤ 20 (kleinster Wert 12).

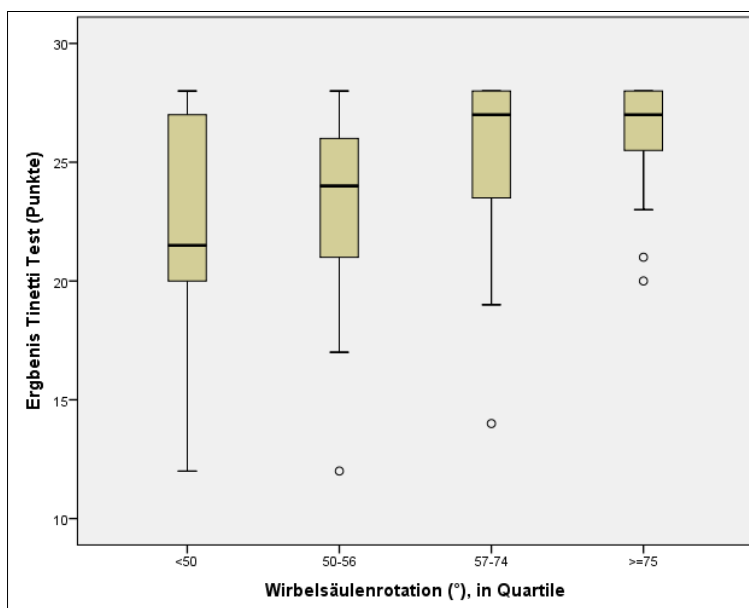


Abbildung 22: Auswirkung der Wirbelsäulenrotation auf das Ergebnis des Tinetti Tests

4.2.2.4 Einfluss aller bekannten Risikofaktoren auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten

In Modell 1 wurden ausschließlich die bekannten Sturzrisikofaktoren in die Berechnung der linearen Regression eingeschlossen. Wie Tabelle 17 zu entnehmen ist, hat mit einem p-Wert von 0,000 die Störung des seitlichen Gleichgewichtes den statistisch größten Einfluss auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test). Auch das Alter zeigt mit einem p-Wert von 0,003 einen statistisch auffälligen Einfluss auf das Sturzrisiko. Diese beiden Faktoren hatten auch in jedem der anderen Regressionsmodelle (siehe Tabelle 15 und 16, Modelle 2-5) stets den größten statistischen Einfluss (siehe Regressionstabellen im Anhang). Somit gilt die Stabilität ihres Einflusses auf das Sturzrisiko als bewiesen. Durch das Modell 1 „bekannte Risikofaktoren“ können 62 % der Varianz des Sturzrisikos erklärt werden (korrigiertes $R^2 = 0,619$). Die verbleibenden 38 % sind durch andere, in diesem Modell nicht berücksichtigte Einflüsse verursacht worden. Sobald die potenziellen Risikofaktoren in die Berechnung der linearen Regressionsmodelle mit aufgenommen werden, steigt jeweils das korrigierte R^2 an (siehe Tabelle 15 und 16). Die Varianz des Sturzrisikos wird also unter Hinzunahme der potenziellen Risikofaktoren noch besser erklärbar, wenn auch nicht bei allen statistisch bedeutsam. Dies zeigt sich an fast allen Faktoren, außer bei der thorakalen Kyphose und Beweglichkeit (siehe Tabelle 16) sowie der Inklination (siehe Tabelle 15).

Einflussfaktoren	korrigiertes R^2	Steigung	Standardfehler	p-Wert
Modell 1	0,619			
Aktivitätslevel		0,011	0,008	0,192
Visusminderung		-1,103	0,558	0,051
Alter		-0,149	0,039	0,0003*
Sturzhäufigkeit		0,127	0,275	0,646
>4 Medikamente		-0,344	0,790	0,646
Sturzbedingende Medikamente		-0,606	0,734	0,411
Schwäche Oberschenkelkraft		-0,011	0,053	0,840
Störung seitliches Gleichgewicht		0,347	0,060	0,0000*
Benutzung von Gehhilfen		-1,348	0,944	0,157

Tabelle 17: Alle bekannten Einflussfaktoren auf das Sturzrisiko (gemessen mit Tinetti Test)

korrigiertes R^2 : Wie viel % der Variabilität der Zielvariable wird durch dieses Modell erklärt

* p-Wert < Signifikanzniveau (für die explorative Analyse gilt $p < 0,05$ als statistisch auffällig)

4.2.3 Vergleich von TUG und Tinetti Test als Sturzrisikotest

Um das Sturzrisiko testen zu können, wurde in der Untersuchung der Probanden zusätzlich zum Tinetti Test auch der TUG Test (siehe Kapitel 2.5.3 und 3.2.3.1) durchgeführt. Es handelt sich hier um einen Test, der ebenfalls die Gangsicherheit und das Gleichgewicht testet, aber den Schwerpunkt eher auf die Quantität der Bewegungsausführung legt (Geschwindigkeit der Bewegung) als auf die Qualität („Wie bewegt sich der Proband“) wie beim Tinetti Test. Die Ergebnisse des TUG Tests gehören zur explorativen Analyse dieser Untersuchung.

Die nun folgende Tabelle 18 gibt einen gesamten Überblick über die Ergebnisse der linearen Regressionsanalysen mit dem TUG Test als Zielvariable. Die Ergebnisse des Modells 1 „alle bekannten Risikofaktoren“ werden im Kapitel 4.2.3.4 gesondert behandelt und können Tabelle 20 entnommen werden. Sie wurden in Tabelle 18 der Übersicht halben nicht erneut mit aufgelistet.

Modell	Einflussfaktoren	korrigiertes R ²	Steigung	Standardfehler	p-Wert
2	alle bekannten RF + WS Schmerz	0,789	0,321	0,496	0,519
3.1	alle bekannten RF + WS Inklination	0,764	0,010	0,055	0,854
3.2	alle bekannten RF + BWS Kyphose	0,769	-0,025	0,018	0,171
3.3	alle bekannten RF + LWS Lordose	0,775	0,037	0,017	0,035*
3.4	alle bekannten RF + WS Inklination BWS Kyphose LWS Lordose	0,799	-0,011 -0,009 0,034	0,057 0,020 0,020	0,843 0,651 0,100
3.5	alle bekannten RF + Summenscore WS Statik	0,774	-0,021	0,010	0,043*
4.1	alle bekannten RF + WS Rotation	0,780	-0,030	0,012	0,012*
4.2	alle bekannten RF + WS Lateralflexion	0,769	-0,015	0,011	0,149
4.3	alle bekannten RF + BWS Extension-Flexion	0,769	0,022	0,015	0,151
4.4	alle bekannten RF + LWS Extension-Flexion	0,772	-0,023	0,012	0,070
4.5	alle bekannten RF + WS Rotation WS Lateralflexion BWS Extension-Flexion LWS Extension-Flexion	0,807	-0,023 -0,002 0,014 -0,013	0,015 0,013 0,016 0,013	0,136 0,889 0,369 0,304
4.6	alle bekannten RF + Summenscore WS Beweglichkeit	0,774	-0,010	0,005	0,049*
5	alle bekannten RF + LWS Lordose WS Rotation	0,785	0,030 -0,027	0,017 0,012	0,078 0,025*

Tabelle 18: Einflussfaktoren auf das Sturzrisiko (gemessen mit Timed-Up-and-Go Test)

RF: Risikofaktoren, korrigiertes R²: Wie viel % der Variabilität der Zielvariable wird durch dieses Modell erklärt, WS: Wirbelsäule, BWS: Brustwirbelsäule, LWS: Lendenwirbelsäule

* p-Wert < Signifikanzniveau (für die explorative Analyse gilt p < 0,05 als statistisch auffällig)

Anmerkung der Autorin: Die Ergebnisse des Modells 1 werden gesondert beschrieben und können Tabelle 20 entnommen werden.

Der Tinetti und der TUG Test werden in der Literatur jeweils als Sturzrisikotests verwendet. Unter den Probanden der vorliegenden Arbeit herrschte auch eine 87 %-ige Übereinstimmung in der Messung der Sturzgefahr zwischen beiden Tests. Dennoch wird im Folgenden zu sehen sein, dass sich bei der Berechnung der linearen Regression ganz unterschiedliche Ergebnisse zeigten. Die folgende Tabelle 19 stellt den Vergleich zwischen den p-Werten der linearen Regressionen dar, berechnet jeweils mit dem Tinetti und dem TUG Test als Zielvariable. Es wird deutlich, dass es nur in der Wirbelsäulenrotation sowie der Gesamtbeweglichkeit eine Übereinstimmung gibt.

Modell	Einflussfaktoren	p-Wert	
		Tinetti Test	TUG Test
2	alle bekannten RF + WS Schmerz	0,010*	0,519
3.1	alle bekannten RF + WS Inklination	0,892	0,854
3.2	alle bekannten RF + BWS Kyphose	0,452	0,171
3.3	alle bekannten RF + LWS Lordose	0,072	0,035*
3.4	alle bekannten RF + WS Inklination	0,774	0,843
	BWS Kyphose	0,922	0,651
	LWS Lordose	0,103	0,100
3.5	alle bekannten RF + Summenscore WS Statik	0,138	0,043*
4.1	alle bekannten RF + WS Rotation	0,019*	0,012*
4.2	alle bekannten RF + WS Lateralflexion	0,070	0,149
4.3	alle bekannten RF + BWS Extension-Flexion	0,913	0,151
4.4	alle bekannten RF + LWS Extension-Flexion	0,089	0,070
4.5	alle bekannten RF + WS Rotation	0,165	0,136
	WS Lateralflexion	0,692	0,889
	BWS Extension-Flexion	0,733	0,369
	LWS Extension-Flexion	0,294	0,304
4.6	alle bekannten RF + Summenscore WS Beweglichkeit	0,013*	0,049*
5	alle bekannten RF + LWS Lordose	-	0,078
	WS Schmerz	0,016*	-
	WS Rotation	0,067	0,025*

Tabelle 19: Einflussfaktoren auf das Sturzrisiko (Vergleich Tinetti und TUG Test)

RF: Risikofaktoren, korrigiertes R^2 : Wie viel % der Variabilität der Zielvariable wird durch dieses Modell erklärt, WS: Wirbelsäule, BWS: Brustwirbelsäule, LWS: Lendenwirbelsäule

* p-Wert < Signifikanzniveau (für die explorative Analyse gilt $p < 0,05$ als statistisch auffällig)

Fettdruck: Übereinstimmung zwischen beiden Tests

4.2.3.1 Einfluss des Wirbelsäulenschmerzes auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem TUG im Vergleich zum Tinetti Test) von Osteoporosepatienten

Misst man das Sturzrisiko mit dem TUG Test, hat der Schmerz statistisch gesehen keinen Einfluss (siehe Tabelle 18, Modell 2, p-Wert = 0,519). Im Vergleich dazu zeigte der Wirbelsäulenschmerz in der Messung mit dem Tinetti Test einen großen sogar statistisch signifikanten Einfluss (siehe Kapitel 4.2.2.1). Betrachtet man die bereits bekannten Risikofaktoren in diesem Modell 2, zeigen die Faktoren „Benutzung von Gehhilfen“ ($p = 0,000$), „Muskelschwäche“ ($p = 0,000$) und „Einnahme von sturzbedingenden Medikamenten“ ($p = 0,011$) einen statistisch auffälligen Einfluss auf das Sturzrisiko (siehe Regressionstabellen im Anhang). In dem Regressionsmodell zum Wirbelsäulenschmerz, bei dem der Tinetti Test Zielvariable war, zeigt sich dies bei den bekannten Risikofaktoren „Störung der seitlichen Stabilität“ sowie „Alter“ (siehe Regressionstabellen im Anhang).

4.2.3.2 Einfluss der Dimensionen der Wirbelsäulenstatik (Inklination, Kyphose, Lordose) auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem TUG im Vergleich zum Tinetti Test) von Osteoporosepatienten

Adjustiert auf die bekannten Risikofaktoren zeigt die Wirbelsäulengesamtstatik mit einem p-Wert von 0,043 einen statistisch auffälligen Einfluss auf das Sturzrisiko von Osteoporosepatienten gemessen mit dem TUG Test (siehe Tabelle 18, Modell 3.5). Misst man hingegen das Sturzrisiko mit dem Tinetti Test zeigt sich keinerlei statistischer Einfluss der Wirbelsäulenstatik auf das Sturzrisiko (siehe Tabelle 16, Modelle 3.1-3.5). Betrachtet man die Ergebnisse der einzelnen Statik-Dimensionen differenziert, zeigt sich in der Messung mit dem TUG Test, dass nur die Lendenwirbelsäulenlordose einen statistisch auffälligen Einfluss auf das Sturzrisiko von Osteoporosepatienten hat (siehe Tabelle 18, Modell 3.3, $p = 0,035$). An der Steigung der Regressionsgeraden dieses Modells (0,037) lässt sich ablesen, dass sich eine Vergrößerung des Lordosewinkels um 27° auf den TUG Test mit einer Verlängerung um eine Sekunde auswirkt. Betrachtet man die bereits bekannten Risikofaktoren in diesen Statik-Modellen 3.1-3.5, zeigen die Faktoren „Benutzung von Gehhilfen“ ($p = 0,000-0,06$), „Muskelschwäche“ ($p = 0,000$) und „Einnahme von sturzbedingenden Medikamenten“ ($p = 0,000-0,014$) einen statistisch auffälligen Einfluss auf das Sturzrisiko (siehe Regressionstabellen im Anhang). Den einzelnen p-Werten zur Folge, haben diese Faktoren einen stärkeren statistischen Einfluss auf das Sturzrisiko als die Wirbelsäulenstatik. In den Regressionsmodellen der Wirbelsäulenstatik, bei der der Ti-

netti Test Zielvariable war, zeigt sich dies bei den bekannten Risikofaktoren „Störung der seitlichen Stabilität“ sowie „Alter“ (siehe Regressionstabellen im Anhang).

In Abbildung 23 wurde die Lendenwirbelsäulenlordose in Quartile aufgeteilt und mit dem Ergebnis des TUG Tests ins Verhältnis gesetzt. An den Boxplots ist abzulesen, dass sich mit Vergrößerung des Lordosewinkels zwar die Zeitdauer des TUG Tests, wenn auch nur leicht, erhöht, jedoch im Median nie den *cutoff*-Wert ≥ 12 Sekunden überschreitet.

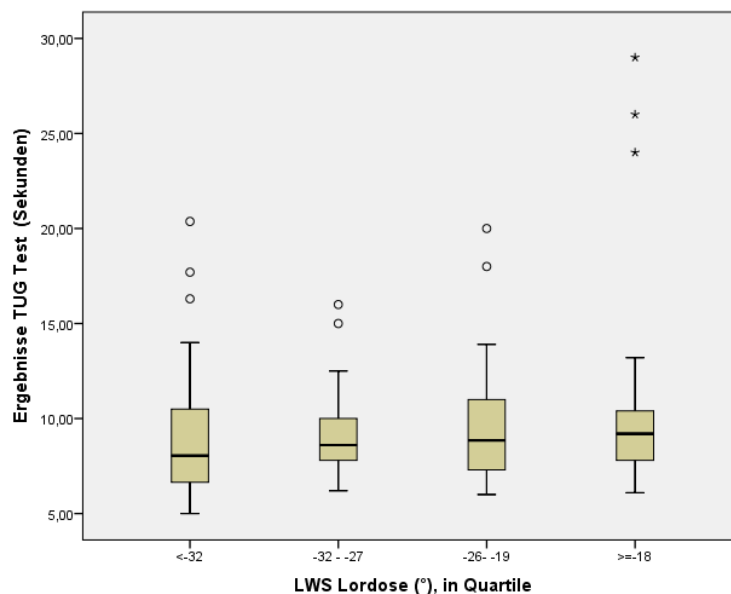


Abbildung 23: Auswirkung der Lendenwirbelsäulenlordose auf das Ergebnis des TUG Tests

Tabelle 18 kann man ebenfalls entnehmen, dass 78 % der Varianz des Sturzrisikos durch das Modell 3.3 „bekannten Risikofaktoren + LWS Lordose“ erklärt werden können (korrigiertes $R^2 = 0,775$). Die verbleibenden 22 % sind durch andere, in diesem Modell nicht berücksichtigte Einflüsse verursacht worden. In Modell 3.4 wurden in die Berechnung der linearen Regression neben den bekannten Risikofaktoren alle drei Statik-Dimensionen gemeinsam mit eingeschlossen. Die Lendenwirbelsäulenlordose verliert dabei mit einem p-Wert von 0,100 ihre statistische Auffälligkeit. In diesem Modell sind zu viele Einzelfaktoren mit gleichartigen Qualitäten (Inklination, Kyphose, Lordose), die alle denselben Einflussfaktor (in dem Falle Wirbelsäulenstatik) ausdrücken. Dadurch kann jeder einzelne Faktor viel weniger Einfluss nehmen. Sehr stark ist der Einfluss der Lendenwirbelsäulenlordose ohnehin nicht. Vergrößert sich doch

in der gemeinsamen Auswertung mit der Wirbelsäulenrotation ihr p-Wert so, dass das vorgegebene Signifikanzniveau überschritten wird ($p = 0,078$) (siehe Tabelle 18, Modell 5).

4.2.3.3 Einfluss der Dimensionen der Wirbelsäulenbeweglichkeit (Rotation, Lateralflexion, Extension-Flexion) auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem TUG im Vergleich zum Tinetti Test) von Osteoporosepatienten

Die Wirbelsäulengesamtbeweglichkeit zeigt mit einem $p = 0,049$ einen statistisch auffälligen Einfluss auf das Sturzrisiko gemessen mit dem TUG Test (s. Tabelle 18, Modell 4.6) und gemessen mit dem Tinetti Test sogar einen statistische signifikanten (s. Tabelle 15, Modell 4.6, $p = 0,013$). Betrachtet man nun die einzelnen Bewegungsrichtungen gesondert, erkennt man, dass nur die Wirbelsäulenrotation das Sturzrisiko signifikant auffällig beeinflusst. Dies zeigt sich sowohl gemessen mit dem TUG Test (siehe Tabelle 18, Modell 4.1, $p = 0,012$), als auch gemessen mit dem Tinetti Test (siehe Tabelle 16, Modell 4.1, $p = 0,019$). Wie stabil der Einfluss der Wirbelsäulenrotation auf das Sturzrisiko ist, bestätigt sich im Modell 5 der Messung mit dem TUG Test (siehe Tabelle 18). Hier wurden zusätzlich zu den bekannten Risikofaktoren beide potenziellen Risikofaktoren, die unter das vorher festgelegte Signifikanzniveau fielen, gemeinsam mit in die Berechnung der linearen Regression eingeschlossen. Neben der Lendenwirbelsäulen-Lordose war das die Wirbelsäulenrotation, die als einzige von beiden ihre statistische Auffälligkeit beibehielt ($p = 0,025$). Bei der Messung des Sturzrisikos mit dem Tinetti Test verliert die Wirbelsäulenrotation in Modell 5 neben dem einflussreichen Faktor Wirbelsäulenschmerz ihre statistische Auffälligkeit (siehe Tabelle 16, $p = 0,67$). Betrachtet man die bereits bekannten Risikofaktoren in diesen Beweglichkeits-Modellen 4.1-4.6, zeigen die Faktoren „Benutzung von Gehhilfen“ ($p = 0,004-0,007$), „Muskelschwäche“ ($p = 0,000$) und „Einnahme von sturzbedingenden Medikamenten“ ($p = 0,007-0,011$) und „Sturzhäufigkeit“ ($p = 0,022-0,048$) einen statistisch auffälligen Einfluss auf das Sturzrisiko (siehe Regressionstabellen im Anhang). In den Regressionsmodellen der Wirbelsäulenbeweglichkeit, bei der der Tinetti Test Zielvariable war, zeigt sich dies bei den bekannten Risikofaktoren „Störung der seitlichen Stabilität“ sowie „Alter“ (siehe Regressionstabellen im Anhang).

4.2.3.4 Einfluss aller bekannten Risikofaktoren auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem TUG im Vergleich zum Tinetti Test) von Osteoporosepatienten

In Modell 1 wurden ausschließlich die bekannten Sturzrisikofaktoren in die Berechnung der linearen Regression eingeschlossen. Wie Tabelle 20 zu entnehmen ist, hat mit einem p-Wert von 0,000 die Schwäche der Oberschenkelmuskulatur den statistisch größten Einfluss auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem TUG Test). Daneben zeigt auch der Gebrauch von Gehhilfe ($p = 0,0003$) sowie die Einnahme von sturzbedingenden Medikamenten ($p = 0,011$) jeweils einen statistisch auffälligen Einfluss auf das Sturzrisiko. Durch dieses Modell 1 „bekannte Risikofaktoren“ können 77 % der Varianz des Sturzrisikos (gemessen mit dem TUG) erklärt werden (korrigiertes $R^2 = 0,766$). Die verbleibenden 23 % sind durch andere, in diesem Modell nicht berücksichtigte Einflüsse verursacht worden. Sobald die potenziellen Risikofaktoren in die Berechnung der linearen Regressionsmodelle mit aufgenommen werden, steigt jeweils das korrigierte R^2 an ($R^2 = 0,769- 0,807$, siehe Tabelle 18). Die Varianz des Sturzrisikos wird also unter Hinzunahme der potenziellen Risikofaktoren noch besser erklärbar, wenn auch nicht bei allen statistisch bedeutsam. Dies zeigt sich an fast allen Faktoren, außer bei der Inklination ($R^2 = 0,764$, siehe Tabelle 18). In dem Regressionsmodell 1, bei dem der Tinetti Test Zielvariable war, zeigt sich dies bei den bekannten Risikofaktoren „Störung der seitlichen Stabilität“ sowie „Alter“ (siehe Tabelle 17).

	Einflussfaktoren	korrigiertes R^2	Steigung	Standardfehler	p-Wert
Modell 1		0,766			
	Aktivitätslevel		-0,003	0,007	0,622
	Visusminderung		0,261	0,450	0,563
	Alter		0,034	0,032	0,287
	Sturzhäufigkeit		-0,434	0,222	0,054
	>4 Medikamente		0,520	0,638	0,417
	Sturzbedingende Medikamente		1,536	0,593	0,011*
	Schwäche Oberschenkelkraft		0,396	0,043	0,0000*
	Störung seitliches Gleichgewicht		-0,066	0,048	0,177
	Benutzung von Gehhilfen		3,808	0,762	0,0003*

Tabelle 20: Alle bekannten Einflussfaktoren auf das Sturzrisiko (gemessen mit TUG Test)

korrigiertes R^2 : Wie viel % der Variabilität der Zielvariable wird durch dieses Modell erklärt

* p-Wert < Signifikanzniveau (für die explorative Analyse gilt $p < 0,05$ als statistisch auffällig)

5 Diskussion

Den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit kann man entnehmen, dass Wirbelsäulenschmerzen einen signifikanten Einfluss auf ein erhöhtes Sturzrisiko von Osteoporosepatienten haben, wenn das Sturzrisiko mit dem Tinetti Test erfasst wird. Auch die Wirbelsäulengesamtbeweglichkeit beeinflusst das Gleichgewicht und damit das Risiko zu stürzen. Bei genauerer Betrachtung der einzelnen Bewegungsrichtungen hat nur die eingeschränkte Rotation der Wirbelsäule einen statistisch auffälligen Einfluss auf das Sturzrisiko. Es konnte nicht nachgewiesen werden, dass durch eine vermehrte Wirbelsäuleninklination das Sturzrisiko steigt.

Misst man das Sturzrisiko hingegen mit dem TUG Test, nimmt der Wirbelsäulenschmerz keinen statistischen Einfluss auf das Sturzrisiko. Demgegenüber zeigt sich jedoch mit zunehmender Vergrößerung der Lendenwirbelsäulenlordose ein Anstieg des Sturzrisikos. Eine Übereinstimmung mit der Messung des Tinetti Testes gibt es nur bei einer eingeschränkten Wirbelsäulengesamtbeweglichkeit sowie Rotation als Einflussfaktor auf das Sturzrisiko.

Bei den in der Literatur bereits bekannten Sturzrisikofaktoren zählen die Faktoren „Alter“ (102, 140, 143, 147, 149, 151) und „Störung der seitlichen Stabilität“ (25, 100, 102, 103, 142) zu den dominantesten Einflussgrößen. Dies fand bei der untersuchten Patientenklientel aus der vorliegenden Arbeit ebenfalls Bestätigung.

5.1 Wirbelsäulenschmerzen

Rückenschmerzen sind ein häufiges Symptom bei Osteoporose und beeinflussen in vielerlei Hinsicht die Lebensqualität der Patienten (154). Obwohl zum Zeitpunkt der Messung nur 32 % der für diese Arbeit untersuchten Osteoporosepatienten über Rückenschmerzen klagten, zeigte sich bei der statistischen Berechnung trotzdem, dass Wirbelsäulenschmerzen einen signifikanten Einfluss auf das Gleichgewicht und damit Sturzrisiko von Osteoporosepatienten haben. Dies wird in der Literatur von zahlreichen Studien bestätigt (121, 139, 140). Im Vergleich zu den anderen Wirbelsäulendimensionen (Beweglichkeit und Statik), die ebenfalls für diese Arbeit untersucht wurden, hatte der Wirbelsäulenschmerz sogar den statistisch größten Einfluss auf das Sturzrisiko.

Zur Frage, welche Ursachen ein Rückenschmerz bei Osteoporosepatienten hat, gibt es in der Literatur verschiedene Überlegungen. Greig et al. belegten, dass Wirbelkörperfrakturen der Grund für die Schmerzen seien (121). Da in der vorliegenden Studie akute Frakturen ein Ausschlusskriterium war, kann diese Aussage nicht kommentiert werden.

In der Literatur wird häufig beschrieben, dass eine kyphotische Fehlhaltung mit Inklination ursächlich für die Wirbelsäulenschmerzen bei Osteoporosepatienten sei bzw. sie damit einhergehen (56, 61, 119, 139-141, 143). Und tatsächlich zeigten auch 66 % der Probanden, die zum Zeitpunkt der Untersuchung unter Schmerzen klagten, eine vermehrte Kyphose (lagen in den obersten beiden Quartilen der Brustwirbelsäulenkyphose-Messdaten). Bei insgesamt 65 % der Rückenschmerzpatienten aus der vorliegenden Studie war die Inklinationshaltung größer 0° und davon bei der Hälfte (50 %) sogar größer als 5° .

Studien, die das Sturzrisiko bei Osteoporosepatienten untersuchten, fanden auch einen Zusammenhang zwischen Schmerzen und einer verminderten Wirbelsäulenbeweglichkeit. Bei diesen Studien wurde aber stets nur die Extensions-Flexionsbewegung untersucht (60, 119, 143, 151). Die Probanden aus der vorliegenden Untersuchung, die zum Zeitpunkt der Messung unter Schmerzen klagten, hatten mit einem Durchschnitt von $37,9^\circ$ ebenfalls eine signifikant verminderte sagittale Lendenwirbelsäulenbeweglichkeit im Vergleich zu den Probanden, die keine Schmerzen angaben (Mittelwert $46,5^\circ$, $p = 0,006$). Auch bei der Rotation zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Schmerzpatienten und denjenigen, die zum Zeitpunkt der Messung über keine Schmerzen klagten (Rotation bei Wirbelsäulenschmerzen = 50° , Rotation ohne Wirbelsäulenschmerzen = $61,9^\circ$, $p = 0,004$). Der Unterschied in der Lateralflexion war zwischen den beiden Gruppen nicht signifikant (Lateralflexion bei Wirbelsäulenschmerzen = $64,7^\circ$, Lateralflexion ohne Wirbelsäulenschmerzen = $72,9^\circ$, $p = 0,075$).

Eine Folge von chronischen Rückenschmerzen ist eine verminderte körperliche Aktivität sowie Muskelschwäche (139, 140). Da bei den Osteoporosepatienten der vorliegenden Studie nur nach dem momentanen Schmerzen und nicht nach der Dauer gefragt wurde, kann über den Grad einer Schmerzchronifizierung keine Aussage gemacht werden. Von den 32 Probanden, die zum Zeitpunkt der Untersuchung über Rückenschmerzen klagten, wurden fast die Hälfte der Probanden (46 %) in Aktivitätsgrad 1 und 2 eingestuft, was für „sehr wenig bzw. wenig körperliche Aktivität“

steht. Auch zeigten 75 % der Schmerz-Probanden, gemessen mit dem *Chair-Rising* Test eine Schwäche der Oberschenkelmuskulatur im Vergleich zu den schmerzfreien Probanden.

Nur 13 % der untersuchten Osteoporosepatienten gaben an, zum Zeitpunkt der Untersuchung an Extremitätenschmerzen zu leiden. Hierbei wurde nur gefragt „Hatten Sie während er Messung Schmerzen außerhalb der Wirbelsäule“. Es wurde demnach nicht explizit nach Knie- oder Fußschmerzen gefragt, die natürlich einen erheblichen Einfluss auf die Gang- und Standstabilität und demzufolge auf das Sturzrisiko haben können (14, 15).

5.2 Wirbelsäulenbeweglichkeit

Die vorliegende Untersuchung ist nach Meinung der Autorin die erste, die die Gesamtbeweglichkeit der Wirbelsäule und insbesondere die Rotation sowie Lateralflexion bei Osteoporosepatienten gemessen und in Beziehung mit dem Sturzrisiko gesetzt hat. Die Wirbelsäulengesamtbeweglichkeit als Summenscore der vier Bewegungsrichtungen hat einen statistisch signifikanten Einfluss auf das Sturzrisiko von Osteoporosepatienten, wobei unter den einzelnen Bewegungsrichtungen nur die Rotation einen statistisch auffälligen Einfluss zeigt. Die Lateralflexion scheint keinen Einfluss zu nehmen. Die Rotationsfähigkeit der Wirbelsäule ist für eine Gleichgewichtsreaktion von großer Bedeutung. Im unvermeidbaren Falle eines Sturzes beobachtet man eine rotatorische Bewegung des gesamten Körpers mit Ausstrecken der Arme, um einerseits den Aufschlag auf prominent stehenden Knochenbereiche zu vermeiden, andererseits die Aufprallgeschwindigkeit und damit -energie zu verringern (101, 106, 107). In einer Studie von amerikanischen Physiotherapeuten zeigte sich bei denjenigen, die innerhalb eines Jahres einmal oder häufiger gestürzt waren, eine signifikant reduzierte Wirbelsäulenrotation. Sie stellten fest, dass das Sturzrisiko um das 2,2 fache anstieg, wenn sich die Rotation um 30° verschlechterte (152). Eine eingeschränkte Wirbelsäulenrotation wirkt sich auch bei Parkinsonpatienten auf ihre Mobilität aus. Zu diesem Ergebnis kamen eine Forschergruppe, die 250 Probanden mit Funktionstests (*Functional Reach* Test, 10 Meter Gangtest, 360°-Drehung) untersuchten und bei den Parkinsonpatienten im Vergleich zu gesunden Gleichaltrigen eine signifikante Einschränkung in der spinalen Beweglichkeit sowie der Mobilität fand (155). In Studien, die die Wirbelsäulenbeweglichkeit bei Osteoporosepatienten

untersuchten, werden fast ausschließlich der Einfluss der Extension und Flexion, nicht aber der der Rotation und Lateralflexion auf das Sturzrisiko untersucht. Ein Grund hierfür könnte der Mangel an praktikablen Messapparaten sein. Für die Messung der Rotation und Lateralflexion wurden in der vorliegenden Arbeit das Plurimeter und der Plurikompass nach Rippstein verwendet. Wie im Kapitel 2.3.1.1 bereits erläutert, verfügen diese Handgeräte über eine hervorragende Reliabilität und zeigen sogar mit dem Röntgenbild eine hohe Korrelation. Ein genaueres digitale Messung der Lateralflexion wäre mit der moderneren Version der MediMouse[®] möglich gewesen, die seit 2003 auf dem Markt ist oder mit dem 3D-Wirbelsäulenanalysegerät der Firma „Zebris“ (siehe Kapitel 2.3.1.2.2), wobei aber mit einem erheblichen Mehraufwand in Anschaffung und Praktikabilität gerechnet werden muss. Tsaou et al. verwendeten für die Erfassung der Wirbelsäulenrotation und -lateralflexion einen *lumbar motion monitor*. Ihre deutlich jüngeren Osteoporosepatienten (49-68 Jahre, n = 17) hatten ein viel kleineres Bewegungsausmaß als die Probanden der vorliegenden Studie (55-87 Jahre, n = 100) (siehe Tabelle 13) (150).

Ishikawa et al. und Miyakoshi et al. untersuchten u. a. den Einfluss der Wirbelsäulenbeweglichkeit auf die Lebensqualität (damit eingeschlossen die Kategorie *falls and psychological factors*) von Osteoporosepatientinnen. Dafür verwendeten beide Forschergruppen die MediMouse[®] und konnten demzufolge nur die Extensions-Flexionsbewegung messen. Die Ergebnisse zeigten, dass nur die lumbale Beweglichkeit einen Einfluss auf die Lebensqualität bzw. die Stürze hatten, nicht aber die thorakale (60, 61). Dies konnte in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden. Die Wirbelsäulenextension im Stehen zu messen, birgt ohnehin einige Schwierigkeiten und zeichnet eventuell nicht die wirkliche, sondern eher die funktionelle Extension ab. Ein Messfehler könnte bei der Handhabung mit der MediMouse[®] liegen. Das Gerät ist mit seinen recht großen Rollen für eine stark konkave Rundung des Rückens, die bei vielen Hyperlordosen nicht nur in der Extensionsstellung, sondern auch schon im Stand zu finden ist, nicht geeignet und verfälscht die Messergebnisse. Ein anderer Grund könnte auch die Stellung der Probanden während der Messung sein. In der vorliegenden Studie wurden die Probanden für die Messung der Wirbelsäulenextension aufgefordert, ihre Hände in die Taille zu stemmen, um sich daraufhin mit dem Oberkörper so weit wie möglich nach hinten zu recken. Die Handhaltung diente hierbei als eine Art Führung und zusätzliche Sicherheit. Sie mussten diese Position einige Sekunden halten können, so lange bis die Messung mit der MediMouse[®] abge-

geschlossen war. Schon für jüngere Probanden (Erfahrung aus der Pilotmessung unter den Physiotherapie-Schülern) ist diese Stellung eher unbequem und verlangt viel Bauchmuskelaktivität. Alle in die Untersuchung eingeschlossenen Osteoporosepatienten konnten diese Position zwar mühelos einnehmen, gingen aber eventuell nicht bis an das mögliche Maximum ihrer Extensionsbewegung. In einer anderen Studie, in der mit der MediMouse[®] Normdaten erhoben wurde, wurde die Brustwirbelsäulenextension erst gar nicht erhoben. Die Begründung war, dass es bei der Extension im Stehen kaum zu einer thorakalen Lordosierung komme, sondern teilweise zwecks Bewahrung des Gleichgewichts zu einer verstärkten Kyphosierung der Brustwirbelsäule (156). Eventuell hätten sich in der vorliegenden Studie bei der Messung andere Winkel messen lassen, wenn die Extension in einer anderen Position z. B. in Bauchlage mit aufgestützten Händen gemessen worden wäre. Da dies aber zum einen für ältere Patienten eine oftmals unangenehme (Belastung der Handgelenke) und zum anderen auch unfunktionelle Bewegung ist, wurde davon abgesehen.

In der vorliegenden Arbeit wurde das Hauptaugenmerk auf Parameter der Wirbelsäule im Zusammenhang mit dem Sturzrisiko bei Osteoporose gelegt. In weitergehenden Untersuchungen zu dieser Thematik wäre interessant, inwiefern sich die Beweglichkeit der unteren Extremität (Hüft, Knie, Fuß) und auch alterstypische Fußdeformitäten (Halux valgus, Hammerzehen etc.) auf das Sturzrisiko auswirken. Einen Hinweis auf einen Effekt gibt die Studie von Chiacchiero und Mitarbeitern. Sie zeigte, dass das Bewegungsausmaß vor allem der Dorsalextension des Fußes und auch der Hüft Abduktion/Innenrotation/Extension in der Gruppe der Stürzer (≥ 2 Stürze in den letzten 12 Monaten) signifikant geringer war, als in der Gruppe, die nicht gestürzt waren (122).

5.3 Wirbelsäulenstatik

Durch eine Kyphose mit Inklinationshaltung verlagert sich der Körperschwerpunkt dicht an die Grenze der Unterstützungsfläche, was die Stand- und Gangsicherheit erheblich gefährdet und in einem Sturz enden kann. In der vorliegenden Studie konnte nicht nachgewiesen werden, dass durch eine vermehrte Wirbelsäuleninklination das Sturzrisiko steigt. Zu beachten ist hierbei, dass die hierfür untersuchten Probanden im Durchschnitt eine Wirbelsäuleninklination von nur 2° mit einer Standardabweichung von 5° und einer Spannweite von -7° bis 17° hatten (siehe Tabelle 14).

Diese durchschnittliche Verschiebung der Körperlängsachse nach ventral ist sehr gering und klinisch eher unbedeutsam. Betrachtet man die Verteilung der erhobenen Messdaten genauer, zeigte die Hälfte aller Probanden (50 %) eine Inklination nach ventral. 36 % der Probanden hatten einen Überhang nach hinten und nur 14 % eine Inklination von genau 0°. Bei anderen Messungen von älteren Personen liegt der Grad der Inklination bedeutend höher. Steinbeis untersuchte, um altersspezifische Normwerte zu finden, 56-83-jährige gesunde Probanden und erhielt im Durchschnitt eine Inklination von 10° (156) (siehe Tabelle 21). Bei Studien, die eine positive Korrelation zwischen der Inklination und dem Gleichgewicht fanden, besaßen Osteoporosepatienten im Mittelwert eine Inklination von 6,81° (61) und gesunde ältere Menschen eine Vorneigung von 17,1° (13). Der Grund für die geringe Inklination des Probandenkollektivs aus der vorliegenden Studie könnte darin liegen, dass die untersuchten Osteoporosepatienten mit einem durchschnittlichen T-Wert = -3,05 zwar eine Knochendichte aufwiesen, die deutlich im osteoporotischen Bereich lag (siehe Tabelle 9), sie aber körperlich recht aktiv waren. Nach der Untersuchung mit dem Fragebogen PASE konnten fast 80 % der Probanden in die beiden höchsten Aktivitätsgrade (mäßig bzw. viel körperliche Aktivität) eingestuft werden (siehe Tabelle 11). Einige Probanden nahmen lange Anreisewege (aus Hamburg, Stuttgart oder dem weiteren Umland von Mainz) auf sich, um an der Studie teilnehmen zu können. Fast alle reisten selbstständig mit öffentlichen Verkehrsmitteln oder dem eigenen Auto an, was eine gewisse körperliche Agilität voraussetzt.

Schlussfolgerungen einiger anderer Studien, dass die Brustwirbelsäulenkyphose mit dem Sturzrisiko zusammenhängt, konnte in der vorliegenden Studie ebenfalls nicht bestätigt werden, obwohl die gemessene Kyphose im Durchschnitt und Vergleich mit anderen Studien recht hoch liegt (siehe Tabelle 21). In den erwähnten Studien wurde die Krümmung der Brustwirbelsäule jeweils mit unterschiedlichen Messmethoden erfasst: mit dem Kyphometer (147), einem lateralen Röntgenbild (102), dem Kurvenlineal (120), der Occiput-Wand-Distanz im Stehen (56) oder Holztäfelchen, die in Rückenlage ausgleichend unter den Kopf gelegt werden mussten (26). Diese immense Varianz der Messmethoden ist wohl die entscheidende Ursache, warum es eine ebenso große Varianz der Messergebnisse gibt. Tabelle 21 gibt einen Einblick in die unterschiedlichen Messergebnisse der Wirbelsäulenstatik, entnommen aus Studien zur ähnlichen bzw. selben Thematik. Die Sternchen kennzeichnen die unterschiedlichen Messmethoden.

Probanden	Gesunde Patienten*	Gesunde Patienten**	Osteoporosepatienten**	Osteoporosepatienten**	Osteoporosepatienten**
Quelle	(157, 158)	(156)	(vorliegende Arbeit)	(60)	(61)
Anzahl	n= -	n=23	n=100	n=172	n=93
Alter	-	56-83 Jahre	55-87 Jahre	50-83 Jahre	60-96 Jahre
BWS Kyphose	-	50°	55°	34,5°	37,3°
LWS Lordose	-	-34°	-25°	-40,1°	-11,4°
WS Inklination	0°	10°	2°	-	6,81°

Tabelle 21: Ergebnisse der Wirbelsäulenstatik-Messung im Vergleich

BWS = Brustwirbelsäule, LWS = Lendenwirbelsäule, WS = Wirbelsäule

*Messung anhand Röntgenbild, **Messung mit der MediMouse®

Tabelle **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**22 gibt ebenfalls einen Überblick über die immense Spannweite der Messergebnisse zur Wirbelsäulenbeweglichkeit aus annähernd denselben Studien wie sie in Tabelle 16 aufgelistet wurden.

Probanden	Gesunde Patienten*	Gesunde Patienten**	Osteoporosepatienten**	Osteoporosepatienten**	Osteoporosepatienten***
Quelle	(157, 158)	(156)	(vorliegende Arbeit)	(60)	(150)
Anzahl	n= -	n=23	n=100	n=172	n=17
Alter	-	56-83 Jahre	55-87 Jahre	50-83 Jahre	49-68 Jahre
WS Lateralflexion	120°	-	70°	-	63,6°
WS Rotation	60°	-	58°	-	44,5°
BWS Ex-Flex	25°-45°	-	14°	17,7°	54,6°
LWS Ex-Flex	35°-60°	70°	44°	51,8°	(Ex-Flex der gesamten WS)

Tabelle 22: Ergebnisse der Wirbelsäulenbeweglichkeit-Messung im Vergleich

WS = Wirbelsäule, Ex-Flex = Extension-Flexion, BWS = Brustwirbelsäule, LWS = Lendenwirbelsäule

*Messung anhand Röntgenbild, **Messung mit der MediMouse®, ***Messung mit dem lumbar motion monitor

Wie aus der 21 und 22 deutlich wird, ist ein Vergleich von Messergebnissen aufgrund der unterschiedlichen Messmethoden und großen Varianz des Bewegungsausmaßes praktisch nicht möglich. Gerade bei Rückenformen, Haltung und Beweglichkeit der Wirbelsäule ist eine Abgrenzung bzw. Einteilung ohnehin schwierig. Wird man doch in der Praxis mit einer Vielzahl von Rückenformen konfrontiert, die man aufgrund funktioneller Tests nicht immer als pathologisch einstufen würde und die nicht scharf gegeneinander abgegrenzt sind. Die große Vielfalt der Rückenformen zeigt sich auch in der vorliegenden Arbeit und spiegelt sich in den großen Standardabweichungen wider (siehe Tabelle 14). Am sinnvollsten erscheint eine Einteilung in Subtypen wie sie in der Untersuchung von Itoi et al. und Miyakoshi et al. zu finden sind (119, 159). Beide beziehen sich bei der Klassifikation auf eine Studie von Sathoh et al. aus dem Jahre 1988, die nicht zur Verfügung steht. Die Osteoporosepatienten aus diesen Studien wurden anhand eines lateralen Röntgenbildes in fünf Gruppen unterteilt: „normale Haltung“, „Rundrücken“, „Hohl-Rundrücken“, „lumbale Kyphose“ und „Totalkyphose“ (siehe Abbildung 24).

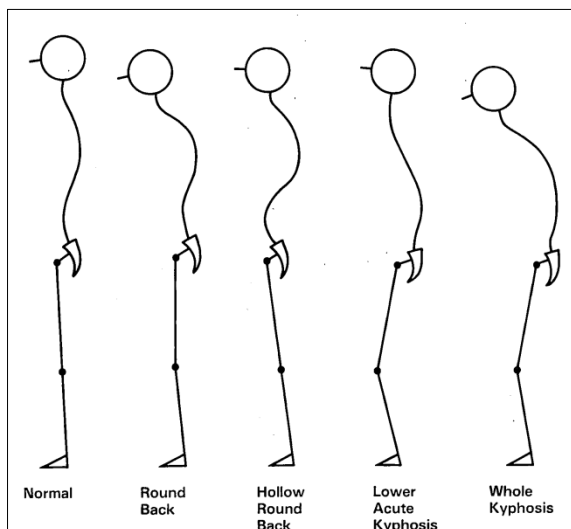


Abbildung 24: Klassifikation der Wirbelsäulenformen in Subtypen (159)

Obwohl beide Forschergruppen dieselbe Einteilung in Subgruppen nutzen und Osteoporosepatienten im annähernd gleichen Alter untersuchen, wird in Tabelle 23 deutlich, dass auch hier wieder ganz unterschiedliche Winkelgradangaben gemessen wurden.

	Normale Haltung	Rundrücken	Hohl-Rundrücken	lumbale Kyphose	Totalkyphose
Osteoporosepatienten, n=100, 48-89 Jahre (159)					
BWS Kyph (°)	37,1	68,9	74,1	56,4	71,6
LWS Lord (°)	-55,1	-57,1	-65,4	-39,2	-38,8
Osteoporosepatienten, n=157, 63-83 Jahre (119)					
BWS Kyph (°)	28,2	54,1	63,6	13,8	39,5
LWS Lord (°)	-24,3	-20,2	-43,3	17,7	12,5

Tabelle 23: Messergebnisse der Wirbelsäulenformen von Osteoporosepatienten nach der Klassifikation in fünf Subtypen

BWS Kyph = Brustwirbelsäulen-Kyphose, LWS Lord = Lendenwirbelsäulen-Lordose

Vergleicht man die Messergebnisse des Probandenkollektivs der vorliegenden Studie mit dieser Klassifizierung, lassen sich die Probanden am ehesten mit der Gruppe „Rundrücken“ aus der Studie von Miyakoshi et al. vergleichen (vorliegende Studie: BWS Kyphose = 55°, LWS Lordose = -25° / Miyakoshi et al.: BWS Kyphose = 54,1°, LWS Lordose = -20,2) (119). In der Beweglichkeit (Extension-Flexion) zeigte diese Gruppe allerdings von der gesamten Wirbelsäule eine Bewegungsamplitude von 29,6° (119). Dies ist deutlich weniger als bei den Probanden der vorliegenden Studie, bei denen alleine in der Lendenwirbelsäule eine Amplitude von 44° gemessen wurde (siehe Tabelle 22). Das zeigt, dass Messergebnisse, die die Wirbelsäulenstatik sowie –beweglichkeit betreffen nur individuell auf das entsprechend untersuchte Probandenklientel bewertet werden sollte und in Gradangaben keine Vergleiche mit anderen Studienergebnissen durchgeführt werden sollten.

5.4 Sturzrisiko gemessen mit dem TUG im Vergleich zum Tinetti Test

Um das Sturzrisiko testen zu können, wurde in der Untersuchung der Probanden zusätzlich zum Tinetti Test auch der TUG Test (siehe Kapitel 2.5.3 und 3.2.3.1) durchgeführt. Es handelt sich hier um einen Test, der ebenfalls die Gangsicherheit und das Gleichgewicht testet, aber den Schwerpunkt eher auf die Quantität der Bewegungsausführung legt (Geschwindigkeit der Bewegung) als auf die Qualität („Wie bewegt sich der Proband“) wie beim Tinetti Test. Die Ergebnisse des TUG Tests gehören zur

explorativen Analyse dieser Untersuchung. Beide Tests werden in der Literatur als Sturzrisikotests verwendet. Unter den Probanden der vorliegenden Arbeit herrschte auch eine 87 %-ige Übereinstimmung zwischen beiden Tests. Dennoch zeigte sich bei der Berechnung der linearen Regression ganz unterschiedliche Ergebnisse. Vergleicht man die Ergebnisse der linearen Regressionsanalyse, erkennt man bis auf wenige Gemeinsamkeiten (Rotation, Wirbelsäulengesamtbeweglichkeit) keinerlei Übereinstimmungen in der Signifikanz. Der Wirbelsäulenschmerz spielt bei der Erfassung des Sturzrisikos mit dem TUG Test als potenzieller Risikofaktor statistisch keine Rolle (Tinetti Test: p-Wert = 0,005, TUG Test: p-Wert = 0,167) (siehe Tabelle 15 und 18). Demgegenüber zeigte nur bei der Verwendung des TUG Tests als Zielvariable ein größer werdender Winkel der Lendenwirbelsäulenlordose einen statistisch auffälligen Einfluss auf das ansteigende Sturzrisiko (siehe Tabelle 18). Damit konnten Ergebnisse einiger anderer Untersuchungen bestätigt werden. Kasukawa et al. untersuchten zwar keine Osteoporosepatienten, sondern ältere Menschen, die gestürzt waren, fanden aber ebenfalls eine positive Korrelation zwischen der lumbalen Lordose und deren Sturzrisiko (13). Die Forschergruppen um Ishikawa et al. und Miyakoshi et al. untersuchten jeweils beide Osteoporosepatienten mit der Medi-Mouse[®] und kamen zu dem Ergebnis, dass nicht etwa die thorakale Kyphose, sondern ausschließlich ein steigender lumbaler Lordosewinkel mit dem Gleichgewicht bzw. der Sturzrate zusammenhängt (60, 61). Der durchschnittliche Lordosewinkel bei den Probanden der vorliegenden Studie lag bei -25° mit einer Standardabweichung von 13° und einer Spannweite von -49° bis 26° (siehe Tabelle 14). Den statistischen Berechnungen zufolge konnte abgelesen werden, dass bei einer Vergrößerung der Lordose um 27° der TUG Test eine Sekunde langsamer wird und damit das Sturzrisiko steigt. Diese Zahlen stimmen nicht mit dem Ergebnis der Studie von Katzman et al. überein, der zum Fazit kam, dass für jede 5° Lordose der TUG Test um 0,02 Sekunden länger dauert (147). Beide Einschätzungen der klinischen Bedeutsamkeit sind fragwürdig, da zum einen 27° Winkelveränderung sehr viel und demgegenüber eine Sekunde Verlängerung des TUG Tests nur sehr wenig erscheinen. Eine Erklärung dafür liegt in der Komplexität der Datenanalyse, die in der vorliegenden Studie angewandt wurde, um der Multikausalität des Sturzes gerecht zu werden. In den Regressionenmodellen wurden stets alle bekannten und jeweils die potenziellen Risikofaktoren mit aufgenommen (insgesamt 10-13 Faktoren). Risikofaktoren, wie der Kraftmangel der Oberschenkelmuskulatur oder die Einnahme von sturzbedingenden Medikamenten zeigten jeweils einen stärkeren statistischen Einfluss auf das

Sturzrisiko und beeinflussten dadurch den Effekt der in dieser Studie als potenziell angesehenen Risikofaktoren.

5.5 Unterschiedliche Testverfahren

Nicht nur in der Messmethodik der Wirbelsäulenstatik und -beweglichkeit gibt es unter den Studien große Variationen, sondern auch in der Testverfahren zur Erfassung des Sturzrisikos. Tabelle 24 gibt einen Überblick über die verwendeten Verfahren der in die vorliegende Arbeit eingebundenen Studien. Die Testverfahren, die in der vorliegenden Studie verwendet wurden, sind in dieser Tabelle durch ein Sternchen gekennzeichnet. Der Tandemstand, der *Chair-Rising* und TUG Test wurden herangezogen, da diese in den Leitlinien Osteoporose des Dachverbandes Osteologie zur Erfassung des Sturzrisikos empfohlen werden. Der Tinetti Test erfasst ähnlich wie die Berg Balance Scale das dynamische sowie statische Gleichgewicht. Beide Methoden überschneiden sich auch in einigen Items. Da allerdings mit dem Tinetti Test die Qualität des Gangbildes genauer erfasst werden kann, wurde dieser Test in der vorliegenden Studie für die konfirmatorische Analyse verwendet.

Messmethoden	Quellen	
	Probanden mit Osteoporose	Probanden ohne Osteoporose
<i>Functional Reach Test</i>	(120, 148)	(160, 161)
Tandemstand*	(11)	(14, 15, 103)
Gehgeschwindigkeit	(3, 102, 120, 139, 140)	(14, 15)
<i>Chair-Rising Test</i> *	(11)	(14, 15, 103)
TUG Test*	(11, 147, 148)	(103, 160, 161)
Short Physical Performance Battery	-	(56)
Tinetti Test (POMA)*	-	(56)
<i>Berg Balance Scale</i>	(120)	(161)
Posturographen	(3, 25, 58, 102, 140, 146)	-
Kraftmessplatte	(58, 61, 102, 121)	(13, 103)
Sturzhäufigkeit erfragt*	(3, 60, 119, 120, 139, 140)	(13, 14, 26, 103)

Tabelle 24: Überblick über Messmethoden zur Erfassung des Sturzrisikos

*Testverfahren, die in der vorliegenden Studie verwendet wurden

Das allgemeine Problem bei der Verwendung von solchen Testverfahren ist, dass die *cutoff*-Werte unterschiedlich gewählt werden. Dies hat eine unterschiedliche Einstufung in ein Sturzrisiko bzw. Nicht-Risiko zur Folge und lässt die Ergebnisse erneut nicht vergleichbar werden. In den Osteoporose-Leitlinien der DVO wird für den Tan-

demstand die Schwelle zur Gleichgewichtsstörung und Sturzgefährdung bei < 10 Sekunden gesetzt und für den *Chair-Rising* Test die Grenze zur kraftbedingten Gangunsicherheit bei ≥ 10 Sekunden (11). Diese Werte wurden in der vorliegenden Arbeit übernommen. Stel et al. und Leveille et al. bedienten sich nicht dieser allgemein gültigen Klassifizierung, sondern teilten die gemessenen Zeiten des Tandemstandes und auch des *Chair-Rising* Tests ihrer Probanden in Quartile auf und gewichteten sie mit einem Punktesystem von 0-4 (14, 15, 103). Dies entspricht einer unter funktionellen Gesichtspunkten gesehenen guten Methode, die aber ebenfalls die Ergebnisse mit anderen Studien nicht vergleichbar macht.

Die Schwellenwerte des TUG Tests wurden 1991 von Podsiadlo et al. in ihrer Validierungsstudie festgelegt. Sie untersuchten hierfür (nur) 60 geriatrische Probanden. Sie setzten fest, dass eine Dauer < 14 Sekunden normal sei, bei 20-30 Sekunden leichte und bei > 30 Sekunden erhebliche Mobilitätseinschränkungen vorherrschen (125). Diese Werte übernahmen Katzman et al. und O'Brien et al. in ihren Untersuchungen (147, 161). Cook und Mitarbeiter verwendeten nur einen Wert und setzten bei > 14 Sekunden die Schwelle zum erhöhten Sturzrisiko (148). In der Osteoporose-Leitlinie des DVO finden sich wieder andere Werte (11). Sie setzten die Schwelle zum Normalen herab auf ≤ 10 Sekunden. Der Zeitbereich 11 bis 29 Sekunden bildet eine Art Grauzone, in der die Interpretation nur in Zusammenhang mit anderen Parametern möglich ist. Der *cutoff*-Wert zur Mobilitätstörung und Sturzgefährdung deckt sich wieder mit dem von Podsiadlo et al. bei ≥ 30 Sekunden. In der vorliegenden Studie wurde der *cutoff*-Wert von Bischoff et al. verwendet, der die Schwelle zur Sturzgefährdung bei > 12 Sekunden festlegte, nachdem er wesentlich mehr ($n = 491$) ältere selbstständig und in Pflegeheimen lebende Menschen im Alter von 65-85 Jahre mit dem TUG Test untersuchte (128).

In einem aktuellen Review identifizierten Köpke und Mitarbeiter mit einer systematischen Literatursuche 37 Publikationen zum Tinetti Test im Zusammenhang mit Stürzen. Sie fanden große Variationen in Bezug auf Name des Instruments, der Items, des Scoring und Schwellenwertes (162). In der vorliegenden Studie wurde sich deswegen auf den Originalartikel von der Physiotherapeutin Mary Tinetti aus dem Jahre 1986 berufen, die eine maximale Punktzahl von 28 Punkten vergab und den Schwellenwert bei ≤ 20 Punkten festlegte, um eine Sturzgefährdung zu bestimmen (126). Ein weiteres Problem in der Benutzung des Tinetti Tests ist die Frage nach der Objektivität. Die Qualität des Gleichgewichtes und des Gangs sollen jeweils an 20 Items

mit 0-2 Punkten bewertet werden. Da es in der vorliegenden Studie aus Mangel an Praktikabilität nicht möglich war, mehrere Untersucher in die Bewertung mit einzubeziehen, aus deren Ergebnis man einen Mittelwert hätte ziehen können, war ein wichtige Voraussetzung für den Einsatz des Tinetti Tests die Übung. Die Untersucherin und auch Autorin dieser Studie führte ca. 40 *Pre-Tests* mit dem Tinetti Testbogen durch, um mit der Handhabung vertraut und in der Beurteilung sicher zu werden.

Die Bedeutung bzw. der Sinn und Unsinn von *cutoff*-Werte ist ohnehin fragwürdig. So verschlucken solche Schwellenwerte viel Information. Beispielsweise gilt ein beliebiger Proband ebenso als sturzgefährdet, egal ob er knapp oder weit über dem angegebenen *cutoff*-Wert liegt. Therapeutisch und auch funktionell betrachtet sind dagegen stetige Variablen sinnvoller, da man dadurch viel mehr Gespür für den funktionellen Status des Patienten bekommt. *Cutoff*-Werte sind eher als Alarmzeichen, aber nicht für den therapeutischen Alltag geeignet. Einige Studien haben diesen Umstand auch erkannt und bedienten sich auf Kosten der Vergleichbarkeit der Studienergebnisse anderer Klassifikationssysteme. In der Studie von Chiacchiero et al. wurden die beim TUG Test gemessenen Zeiten als stetige Variable genutzt und in einen Balancescore von 0-10 aufgeteilt (160). Stel et al. und auch Leveille et al. teilten die gemessene Zeit in Quartile ein und vergaben 0-4 Punkte. Je niedriger der Punktwert, desto höher das Sturzrisiko (14, 15, 103).

5.6 Probandenkollektiv

Insgesamt wurden 100 Probanden untersucht, von denen 24 Patienten aus der wöchentlichen Osteoporosesprechstunde der Universitätsmedizin Mainz und die restlichen 76 Probanden über Flyer bzw. größtenteils über Mitteilungen in lokalen und überregionalen Zeitschriften rekrutiert wurden. Die Frage, die sich während der Datenerhebungen stellte, war stets: Hat das für diese Arbeit eingeschlossene Patientenkollektiv den typischen Osteoporosepatienten tatsächlich repräsentiert oder waren die Patienten dieser Studie zu agil? Alle Probanden mussten in dem Maße körperlich fit sein, dass sie den Weg zur Universitätsmedizin selbstständig bewältigen konnten. Unter den Probanden, die über Mitteilungen in der Presse rekrutiert wurden, hatten einige Patienten eine weite Anreise. Diese selbstständige Anreise, teils mit öffentlichen Verkehrsmitteln, setzt eine Selbstständigkeit und gewisse körperliche und auch geistige Agilität voraus. Vergleicht man die beiden Probandengruppen der verschie-

denen Rekrutierungswege miteinander, zeigt sich jedoch kein allzu großer Unterschied. In beiden Gruppen gaben etwa ein Drittel an, zum Zeitpunkt der Untersuchung Rückenschmerzen zu haben (Sprechstunde: 37 %, Zeitung: 33,3 %) und die meisten zeigten eine mäßige körperliche Aktivität (Sprechstunde: 33,3 %, Zeitung: 42,1 %). Wobei der Anteil der körperlich inaktiven Probanden in der Sprechstunden-Gruppe im Vergleich recht hoch war (Sprechstunde: 20,8 %, Zeitung: 7,9 %). In vielen Studien liest man, dass eine eingeschränkte körperliche Aktivität ein Sturzrisiko sei (siehe Tabelle 4 und 5). Dies bestätigte sich in der vorliegenden Untersuchung jedoch nicht. Alle eingeschlossenen Probanden konnten aufgrund des PASE-Fragenbogens in die obersten beiden Kategorien (= mäßige und viel körperliche Aktivität) eingestuft werden, was man bei Osteoporosepatienten mit einer durchschnittlichen Knochendichte mit einem T-Wert = -3,05 und einem Durchschnittsalter von 71 Jahren nicht unbedingt erwartet hätte. Zu den Aktivitäten gehörten u. a. die Teilnahme an Gymnastikgruppen, Wanderungen, tägliche Spaziergänge oder Radfahrten, die Garten- und Hausarbeit. Eine Begründung für die recht hohe körperliche Aktivität könnte allgemein in der Natur eines Patienten liegen, der sich als Proband für eine wissenschaftliche Studie zur Verfügung stellt. Immerhin dauerte eine Untersuchung bis zu 60 Minuten und den Probanden war bewusst, dass sie dafür bzw. für die Anreise keine Aufwandsentschädigung erhalten würden. Die Vermutung liegt nahe, dass es sich bei den Probanden dieser Studie um Personen handelte, die großes Interesse an ihrer eigenen Gesundheit hatten und ein gutes Selbstverständnis für ihre Osteoporose-Erkrankung. In der Literatur werden derartige Personen-Gruppen als „selbstständig zu Hause lebenden älteren Personen“ (*community-dwelling elderly persons*) von „in Pflegeheimen lebenden älteren Personen“ (*institutionalized persons*) abgegrenzt. Eine Unterscheidung, die absolut sinnvoll ist, handelt es sich doch um völlig unterschiedliches Patientenlientel. In den Studien, die in der vorliegenden Arbeit mit einbezogen wurden, las man diese Unterscheidung jedoch nur selten (26, 143, 147).

5.7 Allgemein

Ein wichtiges Anliegen der vorliegenden Studie war, in der Erhebung der Daten und statistischen Berechnung sowie Analyse der Ergebnisse der Multikausalität sowie Komplexität des Themas „Sturzrisiko“ bei Osteoporosepatienten gerecht zu werden. Nahezu in allen Studien wird nur eine bivariate Zusammenhangsanalyse durchge-

führt (26, 61, 102, 103, 121, 149) oder aber in die lineare Regression keiner der bereits bekannten Risikofaktoren mit aufgenommen (siehe Tabelle 4 und 5), sondern nur Faktoren wie Alter, Kyphosewinkel, Beweglichkeit, Muskelkraft (13, 59, 60, 119, 120, 140, 151). Nur die Studien der Forschergruppe um Leveille et al., die den Zusammenhang zwischen muskuloskeletalen Schmerzen von älteren Frauen (ohne Osteoporose) und dem Sturzrisiko untersuchten, nahmen in die Berechnung der linearen Regressionen alle Risikofaktoren auf, die bisher in der Literatur bekannt sind (14, 15).

Das Sturzrisiko wird im hohen Maße durch den kognitiven Status beeinflusst (118). In der vorliegenden Studie war die Beeinträchtigung der Kognition ein Ausschlussfaktor. Sie wurde jedoch nicht extra z. B. mit dem *Mini-Mental State Examination* (MMSE) gemessen, da die vorherrschende Testbatterie die Probanden nicht ermüden sollte. Ob ein Proband eine demenzielle Erkrankung hatte, wurde anhand seiner Aufmerksamkeit und Fähigkeit, den Anforderungen während der Testung zu folgen, eingestuft.

Zu den weiteren Ausschlusskriterien gehörten ein Knochendichtewert mit einem T-Wert $> -2,5$, ein Alter unter 55 Jahre und das Vorliegen einer Erkrankung, die das Gleichgewicht oder die Gehfähigkeit einschränkt (bspw. Polyneuropathie, Schlaganfall). Weil der IST-Zustand gemessen werden wollte, wäre es nicht von Bedeutung gewesen, ob der Proband z. B. an einer Inkontinenz leidet. Obwohl es sich hierbei auch um einen bewiesenen Risikofaktor für Stürze handelt. Um die eingangs gestellten Studienfragen beantworten zu können, wurde keine Kontrollgruppe ohne Osteoporose benötigt, weil es sich bei der vorliegenden Arbeit um eine Querschnittsstudie unter Osteoporosepatienten handelt. Ergebnisse, die bei Osteoporosepatienten gefunden werden, sind auf ältere Menschen vermutlich übertragbar, denn Osteoporosepatienten zeigen die alterstypischen Veränderungen am Bewegungssystem in protrahierter Form. Zudem stellt sich die Frage, wie man bei der Kontrollgruppe eine vorliegende Osteoporose hätte ausschließen wollen, ohne eine kostspielige und den Probanden unnötig strahlenbelastende DXA-Messung durchzuführen.

6 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit hatte das Ziel, zu untersuchen, ob wirbelsäulenbezogene Faktoren wie Schmerz, Statik und Beweglichkeit jeweils einen Einfluss auf das Sturzrisiko von Osteoporosepatienten haben. Als Probandenkollektiv wurden Patienten mit einer Osteoporose herangezogen, da sie alterstypische Veränderungen am Bewegungssystem in protrahierter Form zeigen. Die Vermutung liegt nahe, dass sich die hier gefundenen Ergebnisse auch auf ältere Menschen, die nicht an einer Osteoporose erkrankt sind, übertragen lassen. Ohne weiterführende Untersuchungen bleibt es aber bei einer Vermutung.

Stürze haben multikausale Ursachen. In der Literatur und Praxis sind eine Reihe von Risikofaktoren für Stürze bekannt. Sie umfassen die Muskelleistung der unteren Extremitäten, die seitliche Balance, klinisch erkennbare Gehstörungen, Visusminderung, die Einnahme von vier oder mehr verschiedenen Medikamenten sowie kognitive Störungen und die Sturzanamnese (10-12). Die Aspekte der Wirbelsäule wurden nur wenig, teilweise gar nicht untersucht. Auch in aktuellen Sturzprophylaxe-Übungsprogrammen für ältere Menschen, die als Präventionskurs nach § 20 SGB von den Krankenkassen anerkannt und finanziell unterstützt werden, liegt der Schwerpunkt fast ausschließlich auf der Verbesserung der Muskelkraft und des Gleichgewichtes (siehe Kapitel 2.5.4).

Es wurden 100 Osteoporosepatienten mit standardisierten Testverfahren hinsichtlich ihrer Sturzrisikofaktoren, Mobilität, körperlichen Aktivität und ihres Gleichgewichtes untersucht. Die Beweglichkeit und Statik der Wirbelsäule wurde mit dem Plurimeter, Plurikompass sowie der MediMouse[®] erfasst. Um der Multikausalität des Sturzes gerecht zu werden, wurden die Ergebnisse der wirbelsäulenbezogenen potenziellen Risikofaktoren in der statistischen Berechnung auf die bereits bekannten Risikofaktoren adjustiert. Die linearen Regressionsanalysen umfassten demnach zehn bis dreizehn Faktoren. Nur dadurch kann die Komplexität der Thematik Sturzrisiko in einer angemessenen Form erfasst werden. Trotz dieser hohen Variablenanzahl zeigten einige Variablen ihre Einflussstärke auf das Sturzrisiko mit einer statistischen Signifikanz. Zu diesen Faktoren zählten bei den bereits bekannten Risikofaktoren das Alter und eine Störung der seitlichen Balance. Bei den potenziellen Risikofakto-

ren, die Gegenstand der wissenschaftlichen Fragestellung der vorliegenden Arbeit waren, bestätigte sich ein Einfluss auf das Sturzrisiko von Osteoporosepatienten beim Wirbelsäulenschmerz und der spinalen Gesamtbeweglichkeit, hierbei besonders der Wirbelsäulenrotation.

Die Wirbelsäulenschmerzen schränken die Lebensqualität eines Osteoporosepatienten am meisten ein. Sie treten eine Kaskade los, bestehend aus mangelnder körperlicher Aktivität, Muskelschwäche, Gangunsicherheit, sozialer Isolation, Depression. Bewegungen laufen unkoordinierter und weniger differenziert ab, wodurch eine angemessene Reaktion auf Störungen des Gleichgewichts potentiell gestört wird (14, 121, 139, 140). Am Ende führt dies wiederum zu einem erhöhten Fraktur- und Sturzrisiko. Somit nimmt die Behandlung von Schmerzen bei Osteoporosepatienten einen wichtigen Stellenwert ein und sollte in Sturzpräventionsangeboten auch besondere Beachtung bekommen. In keinem der gängigen Sturzpräventionsprogramme findet sich ein Hinweis zur Behandlung von Schmerzen.

Eine eingeschränkte Bewegungsmöglichkeit einer hypomobilen Wirbelsäule reduziert die Vielfalt der Reaktionsmöglichkeiten auf Gleichgewichtsstörungen von extern und erhöht dadurch das Risiko zu stürzen (13, 60, 119, 152). Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigten diese Annahme und zeigten, dass die Wirbelsäulengesamtbeweglichkeit, die sich zusammensetzt aus den Bewegungsrichtungen Rotation, Lateralflexion und Extension-Flexion, einen statistisch signifikanten Einfluss auf ein erhöhtes Sturzrisiko von Osteoporosepatienten hat. Die meisten Studien, die die Beweglichkeit hinsichtlich des Sturzrisikos betrachteten, erfassten nur die Wirbelsäulenextension und -flexion und fanden hierbei einen Zusammenhang (13, 60, 61, 119). Analysiert man die einzelnen Bewegungsrichtungen der Probanden aus der vorliegenden Untersuchung gesondert an, zeigte sich, dass nur die Wirbelsäulenrotation das Sturzrisiko statistisch auffällig beeinflusste. Dies deckt sich mit Ergebnissen von Studien, die das Sturzverhalten, meistens an jüngeren Probanden getestet, mittels einer Bewegungsanalyse untersuchten. Sie fanden heraus, dass es bei einem seitlichen Sturz, der bei älteren Personen am häufigsten vorkommt, neben einer ausreichenden Hüftbeweglichkeit auch immer eine Vorwärtsrotation des Rumpfes als Schutzbewegung bedarf, um den direkten Aufprall auf den lateralen Hüftbereich zu vermeiden und das Handgelenk als zusätzliche Abfederung einsetzen zu können (101, 106-108). Betrachtet man Sturzpräventionsprogramme, wird nur wenig bis gar nicht die Mobilität der Wirbelsäule gesondert trainiert.

Durch eine Kyphosierung der Wirbelsäule mit gleichzeitiger Inklinationshaltung tritt der Körperschwerpunkt nahe an die Unterstützungsfläche heran oder überschreitet sie sogar. Dies hat zur Folge, dass es bei kleinsten Störungen der Balance zu einem Verlust der Stabilität kommen kann und bei fehlender adäquater Gleichgewichtsreaktion ein Sturz erfolgt (61). Die Inklinationshaltung, die bei den Probanden der vorliegenden Studie bei nur 2° lag und damit sehr gering ausgeprägt war, zeigte demgegenüber keinen Einfluss.

Ein interessantes Nebenergebnis war außerdem, dass der Einfluss auf das Sturzrisiko abhängig ist von der Wahl des jeweiligen Testverfahrens. In den Ergebnissen zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Testergebnissen des Tinetti und des TUG Tests. In der Berechnung mit dem TUG Test als Zielvariable, nahm der Wirbelsäulenschmerz statistisch keinen Einfluss auf das Sturzrisiko. Demgegenüber zeigte sich jedoch mit zunehmender Vergrößerung der Lendenwirbelsäulenlordose ein Anstieg des Sturzrisikos. Eine Übereinstimmung mit der Messung des Tinetti Testes gab es nur bei einer eingeschränkten Wirbelsäulengesamtbeweglichkeit sowie Rotation als Einflussfaktor auf das Sturzrisiko.

In weiterführenden Studien zu dieser Thematik wäre auch der Aspekt der Reaktionsgeschwindigkeit der Wirbelsäule sowie der oberen und unteren Extremität interessant. Denn im Falle eines Sturzes müssen die Betroffenen in der Lage sein, schnell und effektiv mit einem adäquaten Schutzmechanismus zu reagieren, entweder um den Sturz abzufangen oder um den Aufprall dahingehend abzumildern, dass es zu keinem Knochenbruch kommt.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sollten in ein Sturzpräventionsprogramm einfließen, das nach einem gezielten geriatrischen Assessment individuell auf die Bedürfnisse des jeweiligen Patienten abgestimmt ist. Stürze können viele verschiedene intrinsische und extrinsische Ursachen haben, die beim Patienten nicht alle vorliegen müssen bzw. gleichermaßen ausgeprägt sind. Ein Einheitsprogramm zur Kräftigung und Koordinationsschulung reicht nicht aus, um der Multikausalität des Sturzes gerecht zu werden und effektiv die Stand- und Gangsicherheit zu festigen.

7 Literaturverzeichnis

1. eesom AG. eesom. Ihr Gesundheitsportal- verständlich und aktuell. Osteoporose. 21.05.2012 (zitiert am 18.06.2013); Available from: <http://www.eesom.com/go/HSPJ99CM8Y8PF2GZFBHFVB75LWWO7QYG>.
2. Böhm K, Tesch-Römer,C., Ziese,T., editor. Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung.Gesundheit und Krankheit im Alter. Berlin: Robert Koch-Institut; 2009.
3. Liu-Ambrose T, Eng JJ, Khan KM, Carter ND, McKay HA. Older women with osteoporosis have increased postural sway and weaker quadriceps strength than counterparts with normal bone mass: overlooked determinants of fracture risk? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2003 Sep;58(9):M862-6.
4. Tinetti ME, Williams TF, Mayewski R. Fall risk index for elderly patients based on number of chronic disabilities. *Am J Med.* 1986 Mar;80(3):429-34.
5. Close JC LS, Menz HB, Sherrington C. . What is the role of falls? *Best Pract Res Clin Rheumatol* 2005;19:913-35.
6. AGS. The American/ British Geriatrics Society Clinical Practice Guideline. Prevention of Falls in Older Persons 2010.
7. Breuil V, Roux CH, Testa J, Albert C, Chassang M, Brocq O, et al. Outcome of osteoporotic pelvic fractures: an underestimated severity. Survey of 60 cases. *Joint Bone Spine.* 2008 Oct;75(5):585-8.
8. Icks A, Haastert B, Wildner M, Becker C, Meyer G. [Hip fracture incidence in Germany: analysis of the national hospital discharge registry 2004]. *Dtsch Med Wochenschr.* 2008 Jan;133(4):125-8.
9. Tinetti ME. Clinical practice. Preventing falls in elderly persons. *N Engl J Med.* 2003 Jan 2;348(1):42-9.
10. Runge M, Schacht E. Multifactorial pathogenesis of falls as a basis for multifactorial interventions. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2005 Jun;5(2):127-34.
11. Dachverband Osteologie. DVO-Leitlinie zur Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose bei Erwachsenen. Dachverband Osteologie; 2009.
12. Kenny RA, Rubenstein, L.Z., Tinetti, M.E., Brewer, K., Cameron, K.A., Capezuti, E.A., John, D.P., Lamb, S., Martin, F., Rockey, P.H., Suther, M., Peterson, E., Susskind, O., Radcliff, S., Addleman, K., Drootin, M., Ickowicz, E., Lundebjerg, N. Summary of the Updated American Geriatrics Society/British Geriatrics Society clinical practice guideline for prevention of falls in older persons. *J Am Geriatr Soc.* 2011 Jan;59(1):148-57.
13. Kasukawa Y, Miyakoshi N, Hongo M, Ishikawa Y, Noguchi H, Kamo K, et al. Relationships between falls, spinal curvature, spinal mobility and back extensor strength in elderly people. *J Bone Miner Metab.* 2010;28(1):82-7.
14. Leveille SG, Bean J, Bandeen-Roche K, Jones R, Hochberg M, Guralnik JM. Musculoskeletal pain and risk for falls in older disabled women living in the community. *J Am Geriatr Soc.* 2002 Apr;50(4):671-8.

15. Leveille SG, Jones RN, Kiely DK, Hausdorff JM, Shmerling RH, Guralnik JM, et al. Chronic musculoskeletal pain and the occurrence of falls in an older population. *Jama*. 2009 Nov 25;302(20):2214-21.
16. Ziganek-Soehlke F, editor. *StuBs, Sturzprophylaxe durch Bewegungsschulung, Mehr Bewegungssicherheit im Alltag*. München: Pflaum-Verlag; 2008.
17. Hüter-Becker A, editor. *Lehrbuch zum neuen Denkmodell der Physiotherapie 2. Bewegungsentwicklung, Bewegungskontrolle, Band 2*. Stuttgart: Georg Thieme; 2005.
18. Hüter-Becker A, Dölken M, editors. *Untersuchen in der Physiotherapie*. Stuttgart: Thieme; 2005.
19. Horak FB, Shupert CL, Mirka A. Components of postural dyscontrol in the elderly: a review. *Neurobiol Aging*. 1989 Nov-Dec;10(6):727-38.
20. Bader-Johansson C, editor. *Motorik und Interaktion. Wie wir uns bewegen - was uns bewegt* Stuttgart Thieme; 2000.
21. Maki BE, Mcllroy WE. Control of rapid limb movements for balance recovery: age-related changes and implications for fall prevention. *Age Ageing*. 2006 Sep;35 Suppl 2:ii12-ii8.
22. Van den Berg F, Wulf D., editor. *Angewandte Physiologie 6: Alterungsprozesse und das Alter verstehen*. Stuttgart: Thieme; 2007.
23. Fujita T, Nakamura S, Ohue M, Fujii Y, Miyauchi A, Takagi Y, et al. Effect of age on body sway assessed by computerized posturography. *J Bone Miner Metab*. 2005;23(2):152-6.
24. Prado JM, Stoffregen TA, Duarte M. Postural sway during dual tasks in young and elderly adults. *Gerontology*. 2007;53(5):274-81.
25. Abreu DC, Trevisan DC, Costa GC, Vasconcelos FM, Gomes MM, Carneiro AA. The association between osteoporosis and static balance in elderly women. *Osteoporos Int*. 2010 Sep;21(9):1487-91.
26. Kado DM, Huang MH, Nguyen CB, Barrett-Connor E, Greendale GA. Hyperkyphotic posture and risk of injurious falls in older persons: the Rancho Bernardo Study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2007 Jun;62(6):652-7.
27. Runge M. Die multifaktorielle Genese von Gehstörungen, Stürzen und Hüftfrakturen im Alter. *Z Gerontol Geriat* 1997;30:267-75.
28. Hausdorff JM, Yogev G, Springer S, Simon ES, Giladi N. Walking is more like catching than tapping: gait in the elderly as a complex cognitive task. *Exp Brain Res*. 2005 Aug;164(4):541-8.
29. Hessert MJ, Vyas M, Leach J, Hu K, Lipsitz LA, Novak V. Foot pressure distribution during walking in young and old adults. *BMC Geriatr*. 2005;5:8.
30. Tideiksaar R, editor. *Stürze und Sturzprävention. Assessment, Prävention, Management*. Bern: Hans Huber; 2008.
31. Granacher U, Muehlbauer, T., Bridenbaugh, S., Bleiker, E., Wehrle, A., Kressing, RW. Balance Training and Multi-Task Performance in Seniors. *Int J Sports Med*. 2010;31(5):353-8.

32. Freiberger E, Schöne D., editor. Sturzprophylaxe im Alter. Grundlagen und Module zur Planung von Kursen. Köln: Deutscher-Ärzte-Verlag; 2010.
33. Lord SR, Smith ST, Menant JC. Vision and falls in older people: risk factors and intervention strategies. *Clin Geriatr Med*. 2010 Nov;26(4):569-81.
34. Lord SR. Visual risk factors for falls in older people. *Age Ageing*. 2006 Sep;35 Suppl 2:ii42-ii5.
35. de Boer MR, Pluijm SM, Lips P, Moll AC, Volker-Dieben HJ, Deeg DJ, et al. Different aspects of visual impairment as risk factors for falls and fractures in older men and women. *J Bone Miner Res*. 2004 Sep;19(9):1539-47.
36. Granacher U, Gollhofer A. Auswirkungen des Alterns auf die Schnellkraftfähigkeit und das Reflexverhalten. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. 2005;56(3):68-72.
37. Cao C, Ashton-Miller JA, Schultz AB, Alexander NB. Abilities to turn suddenly while walking: effects of age, gender, and available response time. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 1997 Mar;52(2):M88-93.
38. Beauchet O, Annweiler C, Dubost V, Allali G, Kressig RW, Bridenbaugh S, et al. Stops walking when talking: a predictor of falls in older adults? *Eur J Neurol*. 2009 Jul;16(7):786-95.
39. Rankin JK, Woollacott MH, Shumway-Cook A, Brown LA. Cognitive influence on postural stability: a neuromuscular analysis in young and older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2000 Mar;55(3):M112-9.
40. Allan LM, Ballard CG, Rowan EN, Kenny RA. Incidence and prediction of falls in dementia: a prospective study in older people. *PLoS One*. 2009;4(5):e5521.
41. Bauer JM, Sieber CC. Sarcopenia and frailty: a clinician's controversial point of view. *Exp Gerontol*. 2008 Jul;43(7):674-8.
42. Sieber CC. [The concept of frailty--from phenomenology to therapeutic approaches]. *Z Gerontol Geriatr*. 2005 Sep;38 Suppl 1:11-3.
43. Lin SI, Woollacott M. Association between sensorimotor function and functional and reactive balance control in the elderly. *Age Ageing*. 2005 Jul;34(4):358-63.
44. Karinkanta S, Heinonen A, Sievanen H, Uusi-Rasi K, Kannus P. Factors predicting dynamic balance and quality of life in home-dwelling elderly women. *Gerontology*. 2005 Mar-Apr;51(2):116-21.
45. World Health Organisation Scientific Group, editor. Prevention and Management of Osteoporosis. WHO Technical Report. . Geneva 2003.
46. Pientka L, Friedrich Ch. Osteoporose: Die epidemiologische und gesundheitsökonomische Perspektive. *Z ärztl Fortbild Quallsich (ZaeFQ)*. 2000;94:439 - 44.
47. Hadji P, Klein S., Gothe H., Häussler B., Kless T., Schmidt T., Steinle T., Verheyen F., Linder R. The epidemiology of osteoporosis-Bone Evaluation Study (BEST): an analysis of routine health insurance data. *T Dtsch Arztebl Int*. 2013;110(4):52-7.

48. Haussler B, Gothe H, Gol D, Glaeske G, Pientka L, Felsenberg D. Epidemiology, treatment and costs of osteoporosis in Germany--the BoneEVA Study. *Osteoporos Int.* 2007 Jan;18(1):77-84.
49. Fechtenbaum J, Cropet C, Kolta S, Horlait S, Orcel P, Roux C. The severity of vertebral fractures and health-related quality of life in osteoporotic postmenopausal women. *Osteoporos Int.* 2005 Dec;16(12):2175-9.
50. Robert-Koch-Institut, editor. Muskuloskelettale Erkrankungen. Schwerpunktbericht der Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Robert Koch-Institut. Berlin 2009.
51. Robert-Koch-Institut, editor. Gesundheit im Alter. Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Berlin: Robert Koch-Institut; 2002.
52. Lyles KW, Colon-Emeric CS, Magaziner JS, Adachi JD, Pieper CF, Mautalen C, et al. Zoledronic acid and clinical fractures and mortality after hip fracture. *N Engl J Med.* 2007 Nov 1;357(18):1799-809.
53. Bliuc D, Nguyen ND, Milch VE, Nguyen TV, Eisman JA, Center JR. Mortality risk associated with low-trauma osteoporotic fracture and subsequent fracture in men and women. *Jama.* 2009 Feb 4;301(5):513-21.
54. Burge R, Dawson-Hughes B, Solomon DH, Wong JB, King A, Tosteson A. Incidence and economic burden of osteoporosis-related fractures in the United States, 2005-2025. *J Bone Miner Res.* 2007 Mar;22(3):465-75.
55. Roux C, Fechtenbaum J, Kolta S, Briot K, Girard M. Mild prevalent and incident vertebral fractures are risk factors for new fractures. *Osteoporos Int.* 2007;18(12):1617-24.
56. Balzini L, Vannucchi L, Benvenuti F, Benucci M, Monni M, Cappozzo A, et al. Clinical characteristics of flexed posture in elderly women. *J Am Geriatr Soc.* 2003 Oct;51(10):1419-26.
57. Cortet B, Houvenagel E, Puisieux F, Roches E, Garnier P, Delcambre B. Spinal curvatures and quality of life in women with vertebral fractures secondary to osteoporosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 1999 Sep 15;24(18):1921-5.
58. Greig AM, Bennell KL, Briggs AM, Hodges PW. Postural taping decreases thoracic kyphosis but does not influence trunk muscle electromyographic activity or balance in women with osteoporosis. *Man Ther.* 2008 Jun;13(3):249-57.
59. Imagama S, Matsuyama Y, Hasegawa Y, Sakai Y, Ito Z, Ishiguro N, et al. Back muscle strength and spinal mobility are predictors of quality of life in middle-aged and elderly males. *Eur Spine J.* 2010 Oct 31.
60. Miyakoshi N, Hongo M, Maekawa S, Ishikawa Y, Shimada Y, Itoi E. Back extensor strength and lumbar spinal mobility are predictors of quality of life in patients with postmenopausal osteoporosis. *Osteoporos Int.* 2007 Oct;18(10):1397-403.
61. Ishikawa Y, Miyakoshi N, Kasukawa Y, Hongo M, Shimada Y. Spinal curvature and postural balance in patients with osteoporosis. *Osteoporos Int.* 2009 Dec;20(12):2049-53.

62. Van den Berg F, Wulf D., editor. *Angewandte Physiologie 6: Alterungsprozesse und das Alter verstehen*. Stuttgart: Thieme; 2007.
63. Felsenberg D, Dietzel, R. *Leitlinie Physiotherapie und Bewegungstherapie bei Osteoporose*. Berlin: Zentrum für Muskel- und Knochenforschung Charité Berlin; 2008.
64. Ficklscherer A, editor. *Basics Orthopädie und Traumatologie*. München: Urban & Fischer Bei Elsevier 2005.
65. Uhlemann C, Schreiber, T.U., Sarafowa, A. . Reliabilität klinischer Wirbelsäulenbewegungsmaße bei Probanden. *Phys Rehab Kur Med*. 2001;11:165-70.
66. Greendale GA, Nili, N.S., Huang, M.H., Seeger, L., Karlamangla, A.S. The reliability and validity of three non-radiological measures of thoracic kyphosis and their relations to the standing radiological Cobb angle. *Osteoporos Int*. 2011;22(6):1897-905.
67. de Winter AF, Heemskerk, M.A., Terwee, C.B., Jans, M.P., Deville, W., van Schaardenburg, D.J., et al. Inter-observer reproducibility of measurements of range of motion in patients with shoulder pain using a digital inclinometer. *BMC musculoskeletal disorders*. 2004;14(5):18.
68. Ng JK, Kippers V, Richardson CA, Parnianpour M. Range of motion and lordosis of the lumbar spine: reliability of measurement and normative values. *Spine*. [Research Support, Non-U.S. Gov't]. 2001 Jan 1;26(1):53-60.
69. Saur PM, Ensink FB, Frese K, Seeger D, Hildebrandt J. Lumbar range of motion: reliability and validity of the inclinometer technique in the clinical measurement of trunk flexibility. *Spine*. [Comparative Study]. 1996 Jun 1;21(11):1332-8.
70. Fletcher JP, Bandy WD. Intrarater reliability of CROM measurement of cervical spine active range of motion in persons with and without neck pain. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2008 Oct;38(10):640-5.
71. Audette I, Dumas JP, Cote JN, De Serres SJ. Validity and between-day reliability of the cervical range of motion (CROM) device. *J Orthop Sports Phys Ther*. [Validation Studies]. 2010 May;40(5):318-23.
72. Kachingwe AF, Phillips BJ. Inter- and intrarater reliability of a back range of motion instrument. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005 Dec;86(12):2347-53.
73. Performance A, Associates,. Performance Attainment Associates and MedNet Technologies. CROM, BROM. 2010. (zitiert am 17.07.2013); Available from: <http://www.spineproducts.com/>.
74. Asamoah V, Mellerowicz, H., Venus, J., Klöckner, C. Oberflächenvermessung des Rückens. Wertigkeit in der Diagnostik der Wirbelsäulenerkrankungen. *Der Orthopäde*. 2000;29(6):480-9.
75. Schulein S, Mendoza S, Malzkorn R, Harms J, Skwara A. Rasterstereographic Evaluation of Inter- and Intraobserver-Reliability in Postsurgical Adolescent Idiopathic Scoliosis Patients. *J Spinal Disord Tech*. 2012 Dec 14.

76. zebris Medical GmbH. Isny im Allgäu; Available from: www.zwbris.de.
77. iddiag AG. MediMouse. Fundierte Vermessung für eine spezifische Rückenvermessung. . 2010. (zitiert am 17.07.2013); Available from: <http://www.iddiag.ch/produkte/medimouse/medimouse/>.
78. Mannion AF, Knecht K, Balaban G, Dvorak J, Grob D. A new skin-surface device for measuring the curvature and global and segmental ranges of motion of the spine: reliability of measurements and comparison with data reviewed from the literature. *Eur Spine J.* 2004 Mar;13(2):122-36.
79. Bistritschan E, Delank, S., Winnekendonk, G., Eysel, P. . Oberflächenmessverfahren (Medimouse) versus Röntgenfunktionsaufnahmen zur Beurteilung der lumbalen Wirbelsäulenbeweglichkeit. *Zeitschrift für Orthopädie.* 2003;141(S1).
80. Niethard F, Pfeil, J., editor. *Duale Reihe Orthopädie.* Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2005.
81. Steffen T, Rubin RK, Baramki HG, Antoniou J, Marchesi D, Aebi M. A new technique for measuring lumbar segmental motion in vivo. Method, accuracy, and preliminary results. *Spine (Phila Pa 1976).* 1997 Jan 15;22(2):156-66.
82. Schomacher J. Gütekriterien der visuellen Analogskala zur Schmerzbewertung. *physioscience.* 2008;4(3):125-33.
83. Kröner-Herwig B, Frettlöh, J., Klinger, R., Nilges, P., editor. *Schmerzpsychotherapie. Grundlagen, Diagnostik, Krankheitsbilder, Behandlung.* Berlin: Springer; 2010.
84. DocCheck F. Das Medizinlexikon zum Mitmachen. Schmerzskala. 08.11.2011 (zitiert am 17.07.2013); Available from: <http://flexikon.doccheck.com/de/Schmerzskala>.
85. Revill SI, Robinson JO, Rosen M, Hogg MI. The reliability of a linear analogue for evaluating pain. *Anaesthesia.* 1976 Nov;31(9):1191-8.
86. Gridley L, van den Dolder PA. The percentage improvement in Pain Scale as a measure of physiotherapy treatment effects. *Aust J Physiother.* 2001;47(2):133-8.
87. Bijur PE, Silver W, Gallagher EJ. Reliability of the visual analog scale for measurement of acute pain. *Acad Emerg Med.* 2001 Dec;8(12):1153-7.
88. Dworkin RH, Turk DC, McDermott MP, Peirce-Sandner S, Burke LB, Cowan P, et al. Interpreting the clinical importance of group differences in chronic pain clinical trials: IMMPACT recommendations. *Pain.* 2009 Dec;146(3):238-44.
89. Geissner E. Dimensionen der Verarbeitung chronischer Schmerzen. Eine Replikationsstudie. . *Z Klin Psychol Psychopathol Psychother.* 1992;40:20-33.
90. Geissner E, editor. *Fragebogen zur Erfassung der Schmerzverarbeitung.* Göttingen: Hogrefe; 2000.
91. Hasenbring M, editor. *Kieler Schmerzverarbeitungsinventar.* Bern: Hans Huber; 1994.
92. Hautzinger M, Bailer, M., editor. *Allgemeine Depressionsskala.* Weinheim: Beltz; 1993.

93. Hautzinger M, Bailer, M., Worall, H., Keller, F., editor. Beck-Depressions-Inventar. Bearbeitung der deutschen Ausgabe. Göttingen: Hans-Huber; 1994.
94. Hermann C, Buss, U., Sneith, RP. , editor. Hospital Anxiety and Depression Scale. Deutsche Version. Ein Fragebogen zur Erfassung von Angst und Depressivität in der somatischen Medizin. Bern: Hans Huber; 1995.
95. Flor H, Rudy TE, Birbaumer N, Streit B, Schugens MM. [The applicability of the West Haven-Yale multidimensional pain inventory in German-speaking countries. Data on the reliability and validity of the MPI-D.]. Schmerz. 1990 Jun;4(2):82-7.
96. Kohlmann T, Raspe, HH. Der Funktionsfragebogen Hannover zur alltagsnahen Diagnostik der Funktionsbeeinträchtigung durch Rückenschmerzen. Rehabilitation. 1996(35):1-8.
97. Flor H, Heimerdinger, K., editor. Erfassung des Schmerzverhaltens. Weinheim: Psychologie Verlags Union; 1992.
98. Deutsche Netzwerk für Qualitätsmanagement in der Pflege D, editor. Expertenstandard Sturzprophylaxe in der Pflege: Fachhochschule Osnabrück; 2005.
99. Heinrich S, Rapp K, Rissmann U, Becker C, König HH. Cost of falls in old age: a systematic review. Osteoporos Int. 2010 Jun;21(6):891-902.
100. Liu-Ambrose T, Eng JJ, Khan KM, Carter ND, McKay HA. Older women with osteoporosis have increased postural sway and weaker quadriceps strength than counterparts with normal bone mass: overlooked determinants of fracture risk? J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 2003;58:M862-M6.
101. Mille ML, Johnson ME, Martinez KM, Rogers MW. Age-dependent differences in lateral balance recovery through protective stepping. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2005 Jul;20(6):607-16.
102. Sinaki M, Brey RH, Hughes CA, Larson DR, Kaufman KR. Balance disorder and increased risk of falls in osteoporosis and kyphosis: significance of kyphotic posture and muscle strength. Osteoporos Int. 2005 Aug;16(8):1004-10.
103. Stel VS, Smit JH, Pluijm SM, Lips P. Balance and mobility performance as treatable risk factors for recurrent falling in older persons. J Clin Epidemiol. 2003 Jul;56(7):659-68.
104. Honkanen LA, Schackman BR, Mushlin AI, Lachs MS. A cost-benefit analysis of external hip protectors in the nursing home setting. J Am Geriatr Soc. 2005 Feb;53(2):190-7.
105. Kannus P, Parkkari J. Prevention of hip fracture with hip protectors. Age Ageing. 2006 Sep;35 Suppl 2:ii51-ii4.
106. Hsiao ET, Robinovitch SN. Common protective movements govern unexpected falls from standing height. J Biomech. 1998 Jan;31(1):1-9.
107. Feldman F, Robinovitch SN. Reducing hip fracture risk during sideways falls: evidence in young adults of the protective effects of impact to the hands and stepping. J Biomech. 2007;40(12):2612-8.

108. van den Kroonenberg AJ, Hayes WC, McMahon TA. Hip impact velocities and body configurations for voluntary falls from standing height. *J Biomech.* 1996 Jun;29(6):807-11.
109. Rapp K, Becker C, Cameron ID, Konig HH, Buchele G. Epidemiology of falls in residential aged care: analysis of more than 70,000 falls from residents of bavarian nursing homes. *J Am Med Dir Assoc.* 2012 Feb;13(2):187 e1-6.
110. Robinovitch SN, Feldman F, Yang Y, Schonnop R, Leung PM, Sarraf T, et al. Video capture of the circumstances of falls in elderly people residing in long-term care: an observational study. *Lancet.* 2013 Jan 5;381(9860):47-54.
111. Holliday P, Fernie, GR., Gryfe, Cl., Griggs, G. , editor. Video recording of spontaneous falls of the elderly. Philadelphia: American Society for Testing and Materials; 1990.
112. Runge M, Rehfeld, G., editor. Mobil bleiben. Pflege bei Gehstörungen und Sturzgefahr. Vorsorge, Schulung, Rehabilitation. Hannover: Schlütersche; 2001.
113. AGS B. Guideline for the prevention of falls in older persons. American Geriatrics Society, British Geriatrics Society, and American Academy of Orthopaedic Surgeons Panel on Falls Prevention. *J Am Geriatr Soc.* 2001 May;49(5):664-72.
114. Tinetti M, Speechly, M., Ginter, SF. Risk factors for falls among elderly persons Living in the community. *N Engl J Med.* 1988;319(26):1701-7.
115. Uhrhan T, Govercin M, Schaefer M. [The effect of medications on the risk of falling in elderly patients]. *Med Monatsschr Pharm.* 2010 Nov;33(11):418-26; quiz 27-8.
116. Rhalimi M, Helou R, Jaecker P. Medication use and increased risk of falls in hospitalized elderly patients: a retrospective, case-control study. *Drugs Aging.* 2009;26(10):847-52.
117. Granacher U. Neuromuskuläre Leistungsfähigkeit im Alter (>60 Jahre): Auswirkungen von Kraft- und sensomotorischem Training (Dissertation). Freiburg: Albert-Ludwigs-Universität; 2003.
118. Jansenberger H, editor. Sturzprävention in Therapie und Training. Stuttgart: Thieme; 2011.
119. Miyakoshi N, Itoi E, Kobayashi M, Kodama H. Impact of postural deformities and spinal mobility on quality of life in postmenopausal osteoporosis. *Osteoporos Int.* 2003 Dec;14(12):1007-12.
120. Arnold CM, Busch, A. J., Schachter, C. L., Harrison, L., Olszynski, W. The relationship of intrinsic fall risk factors to a recent history of falling in older women with osteoporosis. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2005 Jul;35(7):452-60.
121. Greig AM, Bennell KL, Briggs AM, Wark JD, Hodges PW. Balance impairment is related to vertebral fracture rather than thoracic kyphosis in individuals with osteoporosis. *Osteoporos Int.* 2007 Apr;18(4):543-51.
122. Chiacchiero M DB, Silva U, DeLosReyes R, Vorik B. The Relationship Between Range of Movement, Flexibility, and Balance in the Elderly Topics in Geriatric Rehabilitation. 2010;26(2):148–55.

123. Felsenberg D, editor. Leitlinie Physiotherapie und Bewegungstherapie bei Osteoporose: Dachverband Osteologie; 2008.
124. Whitehead CH, Wundke R, Crotty M. Attitudes to falls and injury prevention: what are the barriers to implementing falls prevention strategies? *Clin Rehabil.* [10.1191/0269215506cr984oa]. 2006;20:536-42.
125. Podsiadlo D, Richardson S. The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc.* 1991 Feb;39(2):142-8.
126. Tinetti ME. Performance-oriented assessment of mobility problems in elderly patients. *J Am Geriatr Soc.* 1986;34(2):119-26.
127. Lin MR, Hwang HF, Hu MH, Wu HD, Wang YW, Huang FC. Psychometric comparisons of the timed up and go, one-leg stand, functional reach, and Tinetti balance measures in community-dwelling older people. *J Am Geriatr Soc.* 2004 Aug;52(8):1343-8.
128. Bischoff HA, Stahelin HB, Monsch AU, Iversen MD, Weyh A, von Dechend M, et al. Identifying a cut-off point for normal mobility: a comparison of the timed 'up and go' test in community-dwelling and institutionalised elderly women. *Age Ageing.* 2003 May;32(3):315-20.
129. Cipriany-Dacko LM, Innerst D, Johannsen J, Rude V. Interrater reliability of the Tinetti Balance Scores in novice and experienced physical therapy clinicians. *Arch Phys Med Rehabil.* 1997 Oct;78(10):1160-4.
130. Behrman AL, Light KE, Miller GM. Sensitivity of the Tinetti Gait Assessment for detecting change in individuals with Parkinson's disease. *Clin Rehabil.* 2002 Jun;16(4):399-405.
131. Marks D, Pfeffer-Eichhübl, A., Gutknecht, C., Blanco, J. , . Messung physiotherapeutischer Ergebnisqualität in der neurologischen Rehabilitation. *Neurol Rehabil.* 2000;6(5):25.
132. Berg KO, Maki BE, Williams JI, Holliday PJ, Wood-Dauphinee SL. Clinical and laboratory measures of postural balance in an elderly population. *Arch Phys Med Rehabil.* 1992 Nov;73(11):1073-80.
133. Tiedemann A, Shimada H, Sherrington C, Murray S, Lord S. The comparative ability of eight functional mobility tests for predicting falls in community-dwelling older people. *Age Ageing.* 2008 Jul;37(4):430-5.
134. Washburn RA, Smith KW, Jette AM, Janney CA. The Physical Activity Scale for the Elderly (PASE): development and evaluation. *J Clin Epidemiol.* 1993 Feb;46(2):153-62.
135. Becker C. Effectiveness of a multifaceted intervention on falls in nursing home residents. *J Am Geriatr Soc.* [10.1046/j.1532-5415.2003.51103.x]. 2003;51:306-13.
136. Becker C, Blessing-Kapelke,U. Empfehlungspapier für das körperliche Training zur Sturzprävention bei älteren, zu Hause lebenden Menschen. *Z Gerontol Geriat.* 2011;44:121-8.
137. Pinheiro Mde M, Ciconelli RM, Martini LA, Ferraz MB. Risk factors for recurrent falls among Brazilian women and men: the Brazilian Osteoporosis Study (BRAZOS). *Cad Saude Publica.* 2010 Jan;26(1):89-96.

138. Uebelhart B, Rizzoli, R. . Osteoporosis and pain or is osteoporosis painful? *Rev Med Suisse*. 2005;1(25):1662-5.
139. Hübscher M, Vogt, L., Schmidt, K., Fink, M., Banzer, W. Perceived pain, fear of falling and physical function in women with osteoporosis. *Gait Posture*. 2010;32(3):383-5.
140. Liu-Ambrose T, Eng JJ, Khan KM, Mallinson A, Carter ND, McKay HA. The influence of back pain on balance and functional mobility in 65- to 75-year-old women with osteoporosis. *Osteoporos Int*. 2002 Nov;13(11):868-73.
141. Bianchi M, Orsini, MR., Saraifoger, S., Ortolani, S., Radaelli, G., Betti, S. . Quality of life in post-menopausal osteoporosis. *Health Qual Life Outcomes*. 2005;3:78.
142. Ettinger B, Black DM, Palermo L, Nevitt MC, Melnikoff S, Cummings SR. Kyphosis in older women and its relation to back pain, disability and osteopenia: the study of osteoporotic fractures. *Osteoporos Int*. 1994 Jan;4(1):55-60.
143. Miyakoshi N, Kasukawa Y, Ishikawa Y, Nozaka K, Shimada Y. Spinal alignment and mobility in subjects with chronic low back pain with walking disturbance: a community-dwelling study. *The Tohoku journal of experimental medicine*. 2010;221(1):53-9.
144. Cunha U, Leduc M, Nayak US, Isaacs B. Why do old people stoop? *Arch Gerontol Geriatr*. 1987 Dec;6(4):363-9.
145. Woodhull-McNeal A. Changes in posture and balance with age. *Aging (Milano)*. 1992;4(3):219-25.
146. Lynn SG, Sinaki M, Westerlind KC. Balance characteristics of persons with osteoporosis. *Arch Phys Med Rehabil*. 1997 Mar;78(3):273-7.
147. Katzman WB, Vittinghoff E, Ensrud K, Black DM, Kado DM. Increasing kyphosis predicts worsening mobility in older community-dwelling women: a prospective cohort study. *J Am Geriatr Soc*. 2011 Jan;59(1):96-100.
148. Cook C. The relationship between posture and balance disturbances in women with osteoporosis. . *Phys Occup Ther Geriatr* 2002;20:37–49.
149. Mika A, Fernhall B, Mika P. Association between moderate physical activity, spinal motion and back muscle strength in postmenopausal women with and without osteoporosis. *Disabil Rehabil*. 2009;31(9):734-40.
150. Tsauo JY, Chien MY, Yang RS. Spinal performance and functional impairment in postmenopausal women with osteoporosis and osteopenia without vertebral fracture. *Osteoporos Int*. 2002;13(6):456-60.
151. Miyakoshi N, Hongo M, Maekawa S, Ishikawa Y, Shimada Y, Okada K, et al. Factors related to spinal mobility in patients with postmenopausal osteoporosis. *Osteoporos Int*. 2005 Dec;16(12):1871-4.
152. Hilliard MJ, Martinez KM, Janssen I, Edwards B, Mille ML, Zhang Y, et al. Lateral balance factors predict future falls in community-living older adults. *Arch Phys Med Rehabil*. 2008 Sep;89(9):1708-13.
153. Weiß C, editor. *Basiswissen Medizinische Statistik*. Heidelberg: Springer; 2005.

154. Silverman SL, Piziak, V.K., Chen, P. Relationship of healthrelated quality of life to prevalent and new or worsening backpain in postmenopausal women with osteoporosis. *J Rheumatol.* 2005;32:2405-9.
155. Schenkman M, Morey M, Kuchibhatla M. Spinal flexibility and balance control among community-dwelling adults with and without Parkinson's disease. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2000 Aug;55(8):M441-5.
156. Steinbeis S. Alters- und geschlechtsspezifische Normwerte von Rückenform und -beweglichkeit gemessen mit der "Rückenmaus". München: Medizinische Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München; 1999.
157. Fleischhauer M, Heimann,D., Hinkelmann, U., editor. Leitfaden Physiotherapie in der Orthopädie und Traumatologie. München: Elsevier; 2006.
158. Kapandji I, editor. Funktionelle Anatomie der Gelenke. Band 3:Rumpf und Wirbelsäule. Stuttgart: Enke; 1992.
159. Itoi E. Roentgenographic Analysis of Posture in Spinal Osteoporosis. *Spine.* 1990;16(7):750-8.
160. Chiacchiero M, Dresely, B., Silva, U., DeLosReyes, R., Vorik, B. The Relationship Between Range of Movement, Flexibility, and Balance in the Elderly Topics in Geriatric Rehabilitation. 2010;26(2):148–55.
161. O'Brien K, Culham E, Pickles B. Balance and skeletal alignment in a group of elderly female fallers and nonfallers. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 1997 Jul;52(4):B221-6.
162. Köpke S, Meyer, G. The Tinetti test: Babylon in geriatric assessment. *Z Gerontol Geriatr.* 2006;39(4):288-91.

8 Anhang

A.1 Flyer

A.2 Mitteilung in Lokalzeitung

A.3 Patientendatenblatt

A.4 Einwilligungserklärung

A.5 Patienteninformationsbogen

A.6 Tinetti Test- Bogen

A.7 *Physical Activity of the Elderly (PASE)*

A.8 Bewilligung des Ethikantrags

A.9 Tabellen zu den Regressionsanalysen

Zum Kapitel:

4.2.1.1 Einfluss des Wirbelsäulenschmerzes auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten

Aufgenommene/Entfernte Variablen^a

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
2	Hatten Sie während der Testung Schmerzen an der Wirbelsäule?, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl. Aktivität, Muskelkraft, Alter, > als 4 Medikamente am Tag? ^b	.	Einschluß

a. Abhängige Variable: Tinetti-Test

b. Alle gewünschten Variablen wurden eingegeben.

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
2	,823 ^a	,678	,642	2,437

a. Einflußvariablen : (Konstante), Hatten Sie während der Testung Schmerzen an der Wirbelsäule? , Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität, Muskelkraft, Alter, > als 4 Medikamente am Tag?^b

Koeffizienten^a

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
		Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
2	(Konstante)	31,054	2,964		10,476	,000
	Grad der körperl. Aktivität?	,008	,008	,068	,944	,348
	gravierende Visusverschlechterung?	-1,045	,541	-,123	-1,931	,057
	Alter?	-,141	,038	-,260	-3,706	,000
	Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?	,009	,270	,002	,034	,973
	> als 4 Medikamente am Tag?	-,590	,771	-,068	-,765	,446
	Einnahme sturzbedingte Medikamente?	-,666	,712	-,062	-,937	,352
	Muskelkraft?	,019	,053	,027	,351	,726
	Seitl. Stabilität?	,324	,059	,433	5,528	,000
	Benutzen Sie Gehhilfen?	-1,106	,919	-,085	-1,204	,232
	Hatten Sie während der Testung Schmerzen an der Wirbelsäule?	-1,552	,593	-,179	-2,618	,010

a. Abhängige Variable: Tinetti-Test

Zum Kapitel:**4.2.1.2 Einfluss der Wirbelsäulenstatik (Inklination) auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten****Aufgenommene/Entfernte Variablen^a**

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
3.1	Wirbelsäulen Inklination, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag? ^b	.	Einschluß

a. Abhängige Variable: Tinetti-Test

b. Alle gewünschten Variablen wurden eingegeben.

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,808 ^a	,653	,614	2,529

a. Einflußvariablen : (Konstante), Wirbelsäulen Inklination, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag?^b

Koeffizienten^a

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
		Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
3.1	(Konstante)	30,570	3,474		8,799	,000
	Grad der körperl. Aktivität?	,011	,008	,096	1,290	,200
	gravierende Visusverschlechterung?	-1,095	,564	-,129	-1,940	,056
	Alter?	-,146	,045	-,268	-3,260	,002
	Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?	,127	,277	,030	,457	,649
	> als 4 Medikamente am Tag?	-,335	,797	-,039	-,421	,675
	Einnahme sturzbedingte Medikamente?	-,590	,747	-,055	-,790	,432
	Muskelkraft?	-,009	,054	-,014	-,173	,863
	Seitl. Stabilität?	,349	,062	,466	5,663	,000
	Benutzen Sie Gehhilfen?	-1,341	,950	-,104	-1,412	,162
	Wirbelsäulen Inklination	-,009	,068	-,011	-,136	,892

a. Abhängige Variable: Tinetti-Test

Zum Kapitel:**4.2.1.3 Einfluss der Wirbelsäulenbeweglichkeit (Summenscore der Rotation, Lateralflexion, Extension, Flexion) auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem Tinetti Test) von Osteoporosepatienten****Aufgenommene/Entfernte Variablen^a**

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
4.6	SummeWS beweglichkeit , Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag? ^b	.	Einschluß

a. Abhängige Variable: Tinetti-Test

b. Alle gewünschten Variablen wurden eingegeben.

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
4.6	,822 ^a	,676	,640	2,443

a. Einflußvariablen : (Konstante), SummeWS beweglichkeit , Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag?^b**Koeffizienten^a**

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
		RegressionskoeffizientB	Standardfehler	Beta		
4.6	(Konstante)	25,971	3,532		7,352	,000
	Grad der körperl. Aktivität?	,011	,008	,098	1,365	,176
	gravierende Visusverschlechterung?	-1,201	,543	-,141	-2,211	,030
	Alter?	-,122	,040	-,225	-3,091	,003
	Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?	,134	,267	,031	,500	,618
	> als 4 Medikamente am Tag?	-,537	,771	-,062	-,696	,488
	Einnahme sturzbedingte Medikamente?	-,789	,717	-,073	-1,101	,274
	Muskelkraft?	,026	,054	,038	,489	,626
	Seitl. Stabilität?	,329	,059	,439	5,615	,000
	Benutzen Sie Gehhilfen?	-1,263	,918	-,098	-1,376	,172
	SummeWS beweglichkeit	,015	,006	,175	2,521	,013

a. Abhängige Variable: Tinetti-Test

Zum Kapitel:**4.2.3.1 Einfluss des Wirbelsäulenschmerzes auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem TUG im Vergleich zum Tinetti Test) von Osteoporosepatienten****Aufgenommene/Entfernte Variablen^a**

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
2	Hatten Sie während der Testung Schmerzen an der Wirbelsäule?, sturzbedingte Medikamente?, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag? ^b	.	Einschluß

a. Abhängige Variable: Timed up and Go-Test

b. Alle gewünschten Variablen wurden eingegeben.

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
2	,888 ^a	,789	,765	2,03696

a. Einflußvariablen : (Konstante), Hatten Sie während der Testung Schmerzen an der Wirbelsäule?, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag?^b

Koeffizienten^a

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	2,828	2,478		1,141	,257
Grad der körperl. Aktivität?	-,003	,007	-,023	-,389	,698
gravierende Visusverschlechterung?	,249	,452	,028	,551	,583
Alter?	,032	,032	,058	1,018	,312
Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?	-,409	,226	-,093	-1,811	,073
2 > als 4 Medikamente am Tag?	,571	,645	,064	,885	,378
Einnahme sturzbedingte Medikamente?	1,548	,595	,139	2,603	,011
Muskelkraft?	,390	,044	,549	8,819	,000
Seitl. Stabilität?	-,061	,049	-,079	-1,245	,216
Benutzen Sie Gehhilfen?	3,758	,768	,281	4,890	,000
Hatten Sie während der Testung Schmerzen an der Wirbelsäule?	,321	,496	,036	,647	,519

a. Abhängige Variable: Timed up and Go-Test

Zum Kapitel:**4.2.3.2 Einfluss der Dimensionen der Wirbelsäulenstatik (Inklination, Kyphose, Lordose) auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem TUG im Vergleich zum Tinetti Test) von Osteoporosepatienten****Inklination:****Aufgenommene/Entfernte Variablen**

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
3.1	Wirbelsäulen Inklination, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag? ^b		Einschluß

a. Abhängige Variable: Timed up and Go-Test

b. Alle gewünschten Variablen wurden eingegeben.

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
3.1	,887	,788	,764	2,04136

a. Einflußvariablen : (Konstante), BWS Kyphose, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag?^b

Koeffizienten

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
		Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
3.1	(Konstante)	3,124	2,805		1,114	,268
	Grad der körperl. Aktivität?	-,003	,007	-,027	-,473	,637
	gravierende Visusverschlechterung?	,252	,455	,029	,553	,582
	Alter?	,031	,036	,055	,854	,395
	Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?	-,433	,223	-,099	-1,940	,056
	> als 4 Medikamente am Tag?	,511	,643	,057	,794	,429
	Einnahme sturzbedingte Medikamente?	1,518	,603	,136	2,516	,014
	Muskelkraft?	,394	,044	,555	8,961	,000
	Seitl. Stabilität?	-,068	,050	-,088	-1,362	,177
	Benutzen Sie Gehhilfen?	3,801	,767	,285	4,954	,000
	Wirbelsäulen Inklination	,010	,055	,012	,185	,854

a. Abhängige Variable: Timed-Up-and-Go Test (TUG)

Brustwirbelsäulen Kyphose:**Aufgenommene/Entfernte Variablen^a**

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
3.2	BWS Kyphose, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag? ^b		Einschluß

a. Abhängige Variable: Timed up and Go-Test

b. Alle gewünschten Variablen wurden eingegeben.

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
3.2	,890 ^a	,792	,769	2,0221

a. Einflußvariablen : (Konstante), BWS Kyphose, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag?^b

Koeffizienten^a

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
	RegressionskoeffizientB	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	4,307	2,664		1,617	,109
Grad der körperl. Aktivität?	-,003	,007	-,029	-,498	,619
gravierende Visusverschlechterung?	,144	,456	,016	,315	,753
Alter?	,033	,032	,059	1,044	,299
Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?	-,474	,223	-,108	-2,127	,036
> als 4 Medikamente am Tag?	,462	,636	,052	,727	,469
Einnahme sturzbedingte Medikamente?	1,684	,599	,151	2,810	,006
Muskelkraft?	,406	,044	,573	9,338	,000
Seitl. Stabilität?	-,073	,048	-,094	-1,500	,137
Benutzen Sie Gehhilfen?	3,870	,760	,290	5,095	,000
BWS Kyphose	-,025	,018	-,071	-1,381	,171

a. Abhängige Variable: Timed up and Go-Test (TUG)

Lendenwirbelsäulen Lordose:**Aufgenommene/Entfernte Variablen**

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
3.3	LWS Lordose, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag? ^b		Einschluß

a. Abhängige Variable: Timed up and Go-Test

b. Alle gewünschten Variablen wurden eingegeben.

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
3.3	,893	,798	,775	1,99121

a. Einflußvariablen : (Konstante), BWS Kyphose, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag?^b

Koeffizienten

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	5,074	2,629		1,930	,057
Grad der körperl. Aktivität?	-,002	,007	-,019	-,336	,738
gravierende Visusverschlechterung?	,234	,442	,027	,530	,597
Alter?	,015	,032	,027	,476	,635
Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?	-,416	,218	-,095	-1,908	,060
3.3 > als 4 Medikamente am Tag?	,383	,629	,043	,609	,544
Einnahme sturzbedingte Medikamente?	1,507	,581	,135	2,592	,011
Muskelkraft?	,409	,043	,576	9,584	,000
Seitl. Stabilität?	-,080	,048	-,103	-1,668	,099
Benutzen Sie Gehhilfen?	3,727	,748	,279	4,980	,000
LWS Lordose	,037	,017	,110	2,139	,035

a. Abhängige Variable: Timed-Up-and-Go Test (TUG)

Inklination, Kyphose, Lordose:**Aufgenommene/Entfernte Variablen**

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
3.4	Wirbelsäulen Inklination, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag? ^b		Einschluß

a. Abhängige Variable: Timed up and Go-Test

b. Alle gewünschten Variablen wurden eingegeben.

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
3.4	,894	,799	,771	2,01059

a. Einflußvariablen : (Konstante), BWS Kyphose, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag?^b

Koeffizienten

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	5,148	2,995		1,719	,089
Grad der körperl. Aktivität?	-,002	,007	-,021	-,365	,716
gravierende Visusverschlechterung?	,203	,460	,023	,442	,660
Alter?	,020	,036	,036	,558	,578
Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?	-,433	,223	-,099	-1,939	,056
> als 4 Medikamente am Tag?	,384	,636	,043	,603	,548
Einnahme sturzbedingte Medikamente?	1,584	,604	,142	2,621	,010
Muskelkraft?	,413	,044	,582	9,339	,000
Seitl. Stabilität?	-,079	,049	-,102	-1,600	,113
Benutzen Sie Gehhilfen?	3,765	,759	,282	4,960	,000
BWS Kyphose	-,009	,020	-,027	-,454	,651
LWS Lordose	,034	,020	,100	1,664	,100
Wirbelsäulen Inklination	-,011	,057	-,013	-,199	,843

a. Abhängige Variable: Timed-Up-and-Go Test (TUG)

Inklination + Kyphose + Lordose (Summenscore WS Statik)**Aufgenommene/Entfernte Variablen**

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
3.5	Summenscore WS Statik, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag? ^b		Einschluß

a. Abhängige Variable: Timed up and Go-Test

b. Alle gewünschten Variablen wurden eingegeben.

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
3.5	,893	,797	,774	1,99527

a. Einflußvariablen : (Konstante), BWS Kyphose, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag?^b

Koeffizienten

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	4,852	2,609		1,859	,066
Grad der körperl. Aktivität?	-,003	,006	-,025	-,444	,658
gravierende Visusverschlechterung?	,165	,445	,019	,371	,712
Alter?	,029	,031	,052	,924	,358
Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?	-,459	,219	-,105	-2,098	,039
3.5 > als 4 Medikamente am Tag?	,412	,629	,046	,654	,515
Einnahme sturzbedingte Medikamente?	1,682	,587	,151	2,866	,005
Muskelkraft?	,415	,043	,585	9,577	,000
Seitl. Stabilität?	-,076	,048	-,098	-1,582	,117
Benutzen Sie Gehhilfen?	3,829	,749	,287	5,112	,000
Summenscore WS Statik	-,021	,010	-,102	-2,048	,043

a. Abhängige Variable: Timed-Up-and-Go Test (TUG)

Zum Kapitel:**4.2.3.3 Einfluss der Dimensionen der Wirbelsäulenbeweglichkeit (Rotation, Lateralflexion, Extension-Flexion) auf das Sturzrisiko (gemessen mit dem TUG im Vergleich zum Tinetti Test) von Osteoporosepatienten****Wirbelsäulen Rotation:****Aufgenommene/Entfernte Variablen**

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
4.1	Wirbelsäulen Rotation, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag? ^b	.	Einschluß

a. Abhängige Variable: Timed up and Go-Test

b. Alle gewünschten Variablen wurden eingegeben.

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
4.1	,896	,802	,780	1,96964

a. Einflußvariablen : (Konstante), LWS Extensions- bis Flexionsbewegung, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag?^b**Koeffizienten**

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
		RegressionskoeffizientB	Standardfehler	Beta		
4.1	(Konstante)	5,863	2,659		2,204	,030
	Grad der körperl. Aktivität?	-,002	,006	-,014	-,245	,807
	gravierende Visusverschlechterung?	,449	,443	,051	1,015	,313
	Alter?	,019	,031	,034	,618	,538
	Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?	-,505	,217	-,115	-2,325	,022
	> als 4 Medikamente am Tag?	,508	,619	,057	,821	,414
	Einnahme sturzbedingte Medikamente?	1,587	,575	,143	2,759	,007
	Muskelkraft?	,364	,044	,513	8,362	,000
	Seitl. Stabilität?	-,066	,047	-,085	-1,403	,164
	Benutzen Sie Gehhilfen?	3,844	,739	,288	5,199	,000
	Wirbelsäulen Rotation	-,030	,012	-,138	-2,576	,012

a. Abhängige Variable: Timed up and Go-Test

Lateralflexion:**Aufgenommene/Entfernte Variablen**

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
4.2	Wirbelsäulen Lateralflexion, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag? ^b	.	Einschluß

a. Abhängige Variable: Timed up and Go-Test

b. Alle gewünschten Variablen wurden eingegeben.

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
4.2	,890	,792	,769	2,01788

a. Einflußvariablen : (Konstante), LWS Extensions- bis Flexionsbewegung, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag?^b

Koeffizienten

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
	RegressionskoeffizientB	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	4,713	2,757		1,710	,091
Grad der körperl. Aktivität?	-,003	,007	-,027	-,481	,632
gravierende Visusverschlechterung?	,243	,448	,028	,543	,588
Alter?	,025	,032	,045	,793	,430
Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?	-,459	,221	-,105	-2,073	,041
4.2 > als 4 Medikamente am Tag?	,588	,636	,066	,925	,357
Einnahme sturzbedingte Medikamente?	1,628	,592	,146	2,748	,007
Muskelkraft?	,377	,045	,531	8,438	,000
Seitl. Stabilität?	-,061	,048	-,079	-1,263	,210
Benutzen Sie Gehhilfen?	3,767	,758	,282	4,970	,000
Wirbelsäulen Lateralflexion	-,015	,011	-,079	-1,455	,149

a. Abhängige Variable: Timed up and Go-Test

Brustwirbelsäulen Extension-Flexion:**Aufgenommene/Entfernte Variablen**

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
4.3	BWS Extensions- bis Flexions-Bewegung, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag? ^b		Einschluß

a. Abhängige Variable: Timed up and Go-Test

b. Alle gewünschten Variablen wurden eingegeben.

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
4.3	,890	,792	,769	2,01813

a. Einflußvariablen : (Konstante), LWS Extensions- bis Flexionsbewegung, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag?^b

Koeffizienten

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	2,443	2,472		,988	,326
Grad der körperl. Aktivität?	-,002	,007	-,014	-,236	,814
gravierende Visusverschlechterung?	,299	,448	,034	,666	,507
Alter?	,037	,032	,066	1,176	,243
Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?	-,463	,222	-,106	-2,088	,040
> als 4 Medikamente am Tag?	,365	,643	,041	,568	,571
Einnahme sturzbedingte Medikamente?	1,632	,593	,147	2,753	,007
Muskelkraft?	,394	,043	,555	9,211	,000
Seitl. Stabilität?	-,081	,049	-,105	-1,654	,102
Benutzen Sie Gehhilfen?	3,610	,770	,270	4,690	,000
BWS Extensions- bis Flexions-Bewegung	,022	,015	,076	1,447	,151

a. Abhängige Variable: Timed up and Go-Test

Lendenwirbelsäulen Extension-Flexion:**Aufgenommene/Entfernte Variablen^a**

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
4.4	LWS Extensions- bis Flexionsbewegung, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag? ^b		Einschluß

a. Abhängige Variable: Timed up and Go-Test

b. Alle gewünschten Variablen wurden eingegeben.

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
4.4	,892 ^a	,795	,772	2,00425

a. Einflußvariablen : (Konstante), LWS Extensions- bis Flexionsbewegung, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag?^b

Koeffizienten^a

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	4,718	2,634		1,791	,077
Grad der körperl. Aktivität?	-,003	,007	-,027	-,474	,637
gravierende Visusverschlechterung?	,332	,446	,038	,743	,459
Alter?	,021	,032	,038	,667	,506
Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?	-,383	,221	-,087	-1,733	,086
> als 4 Medikamente am Tag?	,558	,630	,062	,885	,378
Einnahme sturzbedingte Medikamente?	1,734	,595	,156	2,915	,004
Muskelkraft?	,390	,043	,549	9,154	,000
Seitl. Stabilität?	-,062	,048	-,081	-1,304	,196
Benutzen Sie Gehhilfen?	3,509	,770	,263	4,558	,000
LWS Extensions- bis Flexionsbewegung	-,023	,012	-,098	-1,834	,070

a. Abhängige Variable: Timed up and Go-Test

Rotation, Lateralflexion, Brustwirbelsäulen Extension-Flexion, Lendenwirbelsäulen Extension- Flexion:

Aufgenommene/Entfernte Variablen^a

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
4.5	Wirbelsäulen Lateralflexion, Wirbelsäulen rotation, LWS Extensions-Flexions-Bewegung, BWS Extensions- Flexions-Bewegung, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag? ^b		Einschluß

a. Abhängige Variable: Timed up and Go-Test

b. Alle gewünschten Variablen wurden eingegeben.

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
4.5	,898 ^a	,807	,778	1,97943

a. Einflußvariablen : (Konstante), Wirbelsäulen rotation, Wirbelsäulen Lateralflexion, BWS Extensions- Flexions-Bewegung, LWS Extensions- Flexionsbewegung, Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag?^b

Koeffizienten^a

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	6,162	2,864		2,151	,034
Grad der körperl. Aktivität?	-,001	,007	-,007	-,118	,906
gravierende Visusverschlechterung?	,468	,451	,053	1,038	,302
Alter?	,016	,032	,029	,513	,609
Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?	-,480	,223	-,110	-2,159	,034
> als 4 Medikamente am Tag?	,441	,633	,049	,698	,487
4.5 Einnahme sturzbedingte Medikamente?	1,765	,594	,159	2,971	,004
Muskelkraft?	,365	,044	,514	8,242	,000
Seitl. Stabilität?	-,073	,048	-,095	-1,512	,134
Benutzen Sie Gehhilfen?	3,526	,776	,264	4,547	,000
Wirbelsäulen Lateralflexion	-,002	,013	-,009	-,140	,889
Wirbelsäulen rotation	-,023	,015	-,105	-1,505	,136
BWS Extensions- Flexions-Bewegung	,014	,016	,049	,902	,369
LWS Extensions- Flexions-Bewegung	-,013	,013	-,058	-1,033	,304

a. Abhängige Variable: Timed up and Go-Test

Rotation + Lateralflexion + Brustwirbelsäulen Extension-Flexion + Lendenwirbelsäulen Extension- Flexion:

Aufgenommene/Entfernte Variablen^a

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
4.6	SummeWS beweglichkeit , Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag? ^b	.	Einschluß

a. Abhängige Variable: Timed up and Go-Test

b. Alle gewünschten Variablen wurden eingegeben.

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
4.6	,893 ^a	,797	,774	1,99770

a. Einflußvariablen : (Konstante), SummeWS beweglichkeit , Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?, seitl.Stabilität?, gravierende Visusverschlechterung?, Einnahme sturzbedingte Medikamente?, Benutzen Sie Gehhilfen?, Grad der körperl.Aktivität?, Muskelkraft?, Alter?, > als 4 Medikamente am Tag?^b

Koeffizienten ^a							
Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.		
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta				
4.6	(Konstante)	5,997	2,888			2,076	,041
	Grad der körperl. Aktivität?	-,003	,007	-,029	-,512		,610
	gravierende Visusverschlechterung?	,324	,444	,037	,730		,467
	Alter?	,017	,032	,030	,524		,601
	Wie oft sind Sie in den letzten 6 Monaten gestürzt?	-,438	,219	-,100	-2,004		,048
	> als 4 Medikamente am Tag?	,645	,631	,072	1,022		,310
	Einnahme sturzbedingte Medikamente?	1,654	,586	,149	2,822		,006
	Muskelkraft?	,372	,044	,524	8,443		,000
	Seitl. Stabilität?	-,054	,048	-,070	-1,130		,262
	Benutzen Sie Gehhilfen?	3,753	,750	,281	5,001		,000
	Summe WS beweglichkeit	-,010	,005	-,109	-1,992		,049

a. Abhängige Variable: Timed up and Go-Test

Danksagung

Nach drei Jahren intensiver Arbeit ist sie nun fertig: meine Dissertation. Damit ist es an der Zeit, mich bei denjenigen zu bedanken, die mich in dieser spannenden Phase meiner akademischen Laufbahn begleitet haben.

Danken möchte ich zunächst der Klaus-Tschira Stiftung, ohne deren finanzielle Unterstützung in Form des Stipendiums ich vielleicht nie diesen Weg eingeschlagen hätte. Ich bedanke mich auch beim Netzwerk Alternsforschung (NAR) in Heidelberg, das damals die stipendiengeförderte Promotionsstelle ausgeschrieben hatte und mich fortan in jeder Lebenslage unterstützte. Der wissenschaftliche Austausch mit den andern Kollegiaten in den regelmäßigen Sitzungen und insbesondere mit Herrn Prof. Dr. Dr. Konrad Beyreuther, dem Gründungsdirektor des NAR, war für meine Arbeit sehr bereichernd.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Ulrich Betz, dem Leiter des Instituts für Physikalische Therapie, Prävention und Rehabilitation, an dessen Tür ich vor drei Jahren klopfte. Er hatte stets ein offenes Ohr und unterstützte mich und meine Arbeit mit Taten sowie wertvollen Ratschlägen. Er hat großen Anteil am Gelingen dieser Arbeit.

Herrn PD Dr. Philipp Drees danke ich für seine Bereitschaft, als Hauptbegutachter meiner Dissertation eingesprungen zu sein.

Vielen Dank an meine Schwiegereltern, insbesondere an Ursel. Ohne deren liebevolle Fürsorge in der wöchentlichen Betreuung unserer Tochter ich die Arbeit an meiner Dissertation nicht so schnell wieder aufnehmen und nun beenden hätte können.

Meiner Familie danke ich für den fortwährenden Glauben an mich und dass sie mir meine berufliche Ausbildung, inklusive Studium, ermöglicht hat.

Der letzte Dank dieser Arbeit soll Stefan und unserer kleinen Luise gelten, meinen Liebsten, die mir jeden Tag Kraft und Halt geben.

Tabellarischer Lebenslauf

Name: Antonia Diegisser, geb. Stieger

Wohnort: Fischtorplatz 20
55116 Mainz
Antonia.Diegisser@gmx.de

Geburtsdatum/-ort: 10.05.1979 in Krefeld

Nationalität: Deutsch

Schulbildung
1985- 1989 Geschwister-Scholl Grundschule, Krefeld
1989- 1996 Arndt-Gymnasium, Krefeld
1996- 1998 Marienschule, Krefeld
beendet mit der Hochschulreife 1998

Berufsausbildung: 1998- 2001 Ausbildung zur Physiotherapeutin an der Rudolf-Klappschule der Philipps-Universität Marburg

Studium:
2004- 2007 berufsbegleitendes Physiotherapie-Studium an der Hochschule Fulda/ Philipps-Universität Marburg
beendet mit *Bachelor of Science in Physiotherapy* 2007
2007- 2009 berufsbegleitendes Physiotherapie-Studium an der Philipps-Universität Marburg / Hochschule Fulda
beendet mit *Master of Science in Physiotherapy* 2009

Berufliche Tätigkeit:
2001- 2002 Physiotherapeutin in niedergelassener Praxis und im RehaFit, Marburg
2002- 2010 Physiotherapeutin im Institut für Rehabilitation und Sportphysiotherapie (IRS), Wiesbaden
2010- 2013 Stipendiatin der Klaus-Tschira Stiftung und Mitglied im Kolleg des Netzwerk Alternsforschung, Universität Heidelberg
seit 2010 wissenschaftliche Mitarbeiterin im Institut für Physikalische Therapie, Prävention und Rehabilitation, Universitätsmedizin Mainz

