

Vibrationstraining als Intervention gegen osteoporotische Frakturen

Departement Gesundheit
Physiotherapie, Studienjahrgang 2006

Abgabedatum: 19. Juni 2009
vorgelegt bei Eva Wenker-Bosshart

Aline Hantz
Rädlibach 31
9244 Niederuzwil
Matrikelnummer: S04-920-484

Stephanie Langenauer
Wiesenrain 991
9103 Schwellbrunn
Matrikelnummer: S06-539-126

Inhaltsverzeichnis

1. Abstract	1
2. Einleitung	2
3. Vibrationstraining	5
3.1 Einführung	5
3.2 Einstellungsparameter	6
3.3 Physikalischer Ansatz	6
3.3.1 Mathematische Formeln	6
3.3.2 Resonanz	9
4. Osteoporose	10
4.1 Definition	10
4.2 Klassifikation	11
4.3 Ätiologie	11
5. Ergebnisse der Studien	14
6. Diskussion	22
6.1 Vibrationsparameter	22
6.2 Trainingsart	23
6.3 Messmethoden und Messorte	25
6.4 Bezug zur Fragestellung	27
6.5 Mögliche Nachteile des Vibrationstrainings	32
7. Schlussfolgerung	34
8. Limitationen der Arbeit und offene Fragen	36
9. Zusammenfassung	38

10. Danksagung	40
11. Verzeichnisse	41
<i>11.1 Literaturverzeichnis</i>	41
<i>11.2 Abbildungsverzeichnis</i>	45
<i>11.3 Tabellenverzeichnis</i>	45
<i>11.4 Auskunftspersonen</i>	46
12. Eigenständigkeitserklärung	47
13. Anhänge	48
<i>13.1 Anhang 1: Matrixtabelle</i>	48
<i>13.2 Anhang 2: Glossar</i>	49

1. Abstract

Diese Bachelorarbeit handelt von der Wirkung des Ganzkörpervibrationstrainings in Bezug auf das Frakturrisiko. Im Mittelpunkt des Interesses stehen Frauen nach der Menopause* mit Osteoporose. Diese Patientengruppe wurde gewählt, da Osteoporose in unserer Gesellschaft ein wesentliches Gesundheitsproblem darstellt und besonders Frauen nach der Menopause* dafür prädisponiert sind (Radspieler, 2009).

Mit zunehmendem Alter nimmt die Knochenfestigkeit ab und die körperliche Leistungsfähigkeit verschlechtert sich. Zusätzlich steigt das Sturzrisiko, da dieses hauptsächlich aus einer verminderten Gleichgewichtsfähigkeit und einer reduzierten Muskelkraft der unteren Extremitäten hervorgeht (Gusi, Raimundo & Leal, 2006). Ist das Risiko zu stürzen erhöht, sind besonders Patienten mit Osteoporose gefährdet eine Knochenfraktur zu erleiden.

Führende Hersteller von Vibrationsgeräten werben mit einem erhöhten Kraftzuwachs, mit der Verbesserung des Gleichgewichts und der Zunahme der Knochendichte (Galileo® Training, 2009; Power Plate® International Limited, 2001–2009). Werden diese Faktoren durch das Vibrationstraining verbessert, kann mit dieser neuen Trainingsmethode ein wesentlicher Beitrag für die Verminderung des Frakturrisikos geleistet werden.

Diese Arbeit soll prüfen, ob das Vibrationstraining eine Möglichkeit zur Herabsetzung des Frakturrisikos bei Frauen mit Osteoporose darstellt und eine Empfehlung zur Anschaffung von Vibrationsgeräten in der Physiotherapie und in Rehabilitationszentren abgeben.

2. Einleitung

“Power Plate - der 10 Minuten Erfolg” (Power Plate® International Limited, 2001–2009)

Mit diesem Slogan wirbt die Firma Power Plate® für das Training mit ihrem Vibrationsgerät. Was aber bewirkt Vibrationstraining wirklich? Hält die Werbung ihre Versprechungen?

Zu Beginn dieser Bachelorarbeit waren das die zentralen Fragen, welchen nachgegangen wurde. Gerade der Aktualität wegen interessierten sich die Autorinnen sehr für dieses Thema. Schnell musste jedoch festgestellt werden, dass das Vibrationstraining und dessen Auswirkungen auf den Körper ein zu grosses Gebiet für diese Arbeit darstellen. Deshalb wurde das Augenmerk auf die Thematik Osteoporose gerichtet.

In unserer Gesellschaft ist Osteoporose ein wesentliches Gesundheitsproblem. Ein wichtiger Faktor dafür ist die zunehmend erhöhte Lebenserwartung in unseren Breitengraden (Bundesamt für Statistik, 2009). Die Osteoporose-Prävalenz wurde in der Schweiz im Jahr 2000 anhand von errechneten Daten auf etwa 316'000–348'000 Personen geschätzt, wobei unter den Betroffenen ungefähr 75 % bis 83 % weiblichen Geschlechts waren. Bis ins Jahr 2020 wird ein Anstieg auf 395'000–437'000 Personen erwartet. Besonders Frauen nach der Menopause* haben ein erhöhtes Risiko, an Osteoporose zu erkranken und im Verlauf der Krankheit eine Knochenfraktur zu erleiden, denn mit der Osteoporose-Prävalenz steigt gleichzeitig die Frakturinzidenz (Looker, Orwoll, Johnston, Lindsay, Wahner, Dunn, Calvo, Harris & Heyse, 1995; zit. nach Schwenkglens & Szucs, 2004).

Für Gusi et al. (2006) basieren die Hauptgründe für Knochenbrüche auf Stürzen, Knochenbrüchigkeit, Einbussen des Gleichgewichts und anderen Koordinationsfähigkeiten, sowie der abnehmenden Kraft in den unteren Extremitäten. Um präventiv gegen eine osteoporotisch bedingte Fraktur vorgehen zu können, müssen diese Faktoren erhalten oder sogar verbessert werden.

Genau diese Verbesserungen versprechen diverse Hersteller von Ganzkörpervibrationsplatten beim Training auf solchen Geräten zu erreichen. Auf ihren Internetseiten wird von der Verbesserung der Koordination und der Balance, einem Muskelzuwachs, der Erhöhung der Knochendichte sowie der Beschleunigung des Rehabilitati-

onsprozesses gesprochen. Zudem wird geworben, dass das Training mit geringem zeitlichem Aufwand bewältigt werden kann und ein grosser Trainingserfolg resultiert. (Galileo[®] Training, 2009; Power Plate[®] International Limited, 2001–2009)

Daraus schliessend, scheint das Vibrationstraining ein ideales Mittel zu sein, um in der Physiotherapie bei Patienten mit Osteoporose eingesetzt zu werden. Ein wichtiger Vorteil wäre der damit verbundene minimale Zeitaufwand, da die Behandlungszeiten und Anzahl Sitzungen stets weiter abnehmen. Ausserdem erwarten Gesundheitskassen klar ersichtliche Fortschritte und kosteneffizientes Arbeiten.

Ob der versprochene Erfolg in Bezug auf Osteoporose Tatsache ist, wollen die Autorinnen dieser Arbeit prüfen und folgende Fragestellung beantworten. Kann Ganzkörpervibrationstraining das osteoporotisch bedingte Frakturrisiko bei Frauen nach der Menopause* positiv beeinflussen? Mit der Bearbeitung dieser Fragestellung möchten die Autorinnen eine Empfehlung abgeben können, ob die Anschaffung von Vibrationsgeräten in der Physiotherapie und in Rehabilitationszentren für Patienten mit Osteoporose lohnenswert ist.

Die Literatursuche erfolgte in den Datenbanken PubMed, CINAHL, The Cochrane Library und in der Datenbankplattform OvidSP. Mittels den Schlüsselwörtern *vibration* und *osteoporosis* wurden in der MeSH-Datenbank die Schlagwörter *vibration* und *osteoporosis, postmenopausal* ermittelt, mit denen nach relevanten Studien gesucht wurde. Die Suche in den Datenbanken PubMed und The Cochrane Library ergab mit der Verknüpfung beider Schlagwörter je elf Treffer, wovon fünf doppelte Treffer waren. Die restlichen Datenbanken wurden ausgeschlossen, da die spezifische Suche mit Schlagwörtern nicht möglich war.

Aus Gründen des Sprachverständnisses wurden nur englische und deutsche Studien verwendet. Ausserdem mussten es Originalstudien sein, welche dem randomisiert, kontrollierten Studiendesign entsprachen.

Die Studien wurden in drei Schritten aussortiert. Zuerst wurden Studientitel, dann Abstracts und schliesslich die ganzen Artikel gelesen. Ein Einschlusskriterium stellte der Inhalt der Studien dar, welcher sich um Vibrationstraining mit Frauen im postmenopausalen Alter handeln sollte. Zudem musste eine Untersuchung an Knochenparametern erfolgt sein. Studien mit Männern, Tieren und lokal applizierten Vibrationen wurden ausgeschlossen. Schliesslich blieben sechs englische Artikel übrig, die in dieser Arbeit

genauer untersucht wurden. Die methodologische Qualität der Studien wurde mit der PEDro Scale bestimmt (Physiotherapy Evidence Database, 2009).

Zur Einarbeitung in die Themen Osteoporose und Vibrationstraining sowie für die Diskussion wurde nach weiterer Fachliteratur recherchiert. Ausserdem wurde mit den Schlüsselwörtern *vibration* und *balance* respektive *muscle strength* die Suche nach Reviews ausgedehnt, um die Effekte des Ganzkörpervibrationstrainings in Bezug auf die Muskelkraft und das Gleichgewicht zusammenzufassen.

Bevor genauer auf die Studienergebnisse eingegangen wird, ist im Hauptteil dieser Arbeit ein Überblick zu den Themen Vibrationstraining und Osteoporose gegeben, der als Grundlage dienen soll.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit meist die männliche Form gewählt, die weibliche soll aber mit einbezogen sein. Begriffe, die mit einem * gekennzeichnet sind, werden im Glossar (Kapitel 13.2) erläutert.

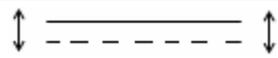
3. Vibrationstraining

3.1 Einführung

Beim Vibrationstraining werden mechanische Schwingungen von einer Vibrationsplatte auf den Körper übertragen. Diese Trainingsform ist auch bekannt unter den Namen „Whole Body Vibration“ (WBV), rhythmische neuromuskuläre Stimulation und biomechanische Stimulation (Beutler, 2007).

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Vibrationssysteme, die vertikale Hubmechanik und die seitenalternierende Wippmechanik (Burkhardt, 2006).

Tabelle 1: Vergleich von Hubmechanik und Wippmechanik

Hubmechanik	Wippmechanik
	
Vertikale Auf- und Abbewegungen	Seitenalternierende Auf- und Abbewegungen
z.B. Power Plate® pro5™	z.B. Galileo® 2000

Quelle: Galileo® Training, 2009; Power Plate® International Limited, 2001–2009

Eine Trainingsmethode ist der Stand auf der Platte mit leichter Knie- und Hüftflexion, es ist jedoch auch die Ausführung von Kräftigungsübungen möglich. Steht der Mensch auf einer Vibrationsplatte, werden die Gelenkstellungen der Beinlängsachse stets ein wenig verändert. Die von der Vibrationsplatte produzierten mechanischen Kräfte werden so ausgeglichen (Galileo® Training, 2009). Laut Burkhardt (2006) erfolgt die Dämpfung bei der Hubmechanik in der transversalen Achse (Flexion/Extension im oberen Sprunggelenk, Knie und Hüfte). Bei der Wippmechanik gibt es eine zusätzliche Bewegungsrichtung in der sagittalen Achse (Hüftab-/adduktion und Lateralflexion/ Rotation der Lendenwirbelsäule) (siehe Abbildung 1).

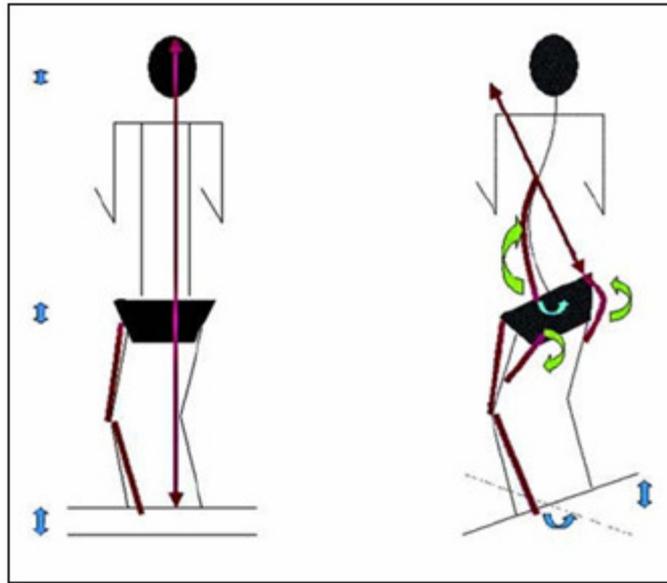


Abbildung 1: Dämpfung beim Vibrationstraining (Burkhardt, 2006, S. 22)

3.2 Einstellungsparameter

Die variablen Parameter der Vibrationsplatten sind Frequenz und Amplitude. Sie bestimmen die Intensität des Trainings. Bei Galileo[®]-Vibrationsgeräten mit seitenalternierendem System ist die Amplitude nicht am Gerät einstellbar, kann jedoch mit der Spurbreite verändert werden. Die Amplitude variiert so von 0 mm bis 12 mm. Die Einstellungsmöglichkeiten für die Frequenzen sind 5 Hz bis 30 Hz. Bei der Power Plate[®], einem vertikal vibrierenden System, liegt die Einstellung für die Amplitude bei 2 mm oder 4 mm, die der Frequenzen bei 20 Hz bis 60 Hz. (Burkhardt, 2006; Galileo[®] Training, 2009; Power Plate[®] International Limited, 2001–2009)

In einigen Studien (Ruan, Jin, Liu, Peng & Sun, 2008; Rubin, Recker, Cullen, Ryaby, McCabe & McLeod, 2004) wurden auch andere Vibrationsgeräte verwendet, bei denen die Einstellungen von den hier angegebenen Zahlen abweichen.

3.3 Physikalischer Ansatz

3.3.1 Mathematische Formeln

Vibrationsplatten erzeugen Schwingungen, die sinusförmig sind (Galileo[®] Training, 2009; Power Plate[®] International Limited, 2001-2009). Sinusförmige Schwingungen

lassen sich durch die Sinusfunktion (1) beschreiben (Erbrecht, König, Martin, Pfeil & Wörstenfeld, 1999). Diese wird durch Abbildung 2 erläutert. Die Weg-Zeit-Funktion lautet:

$$(1) \quad y(t) = y_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0) \quad \text{wobei } \omega = 2\pi \cdot f$$

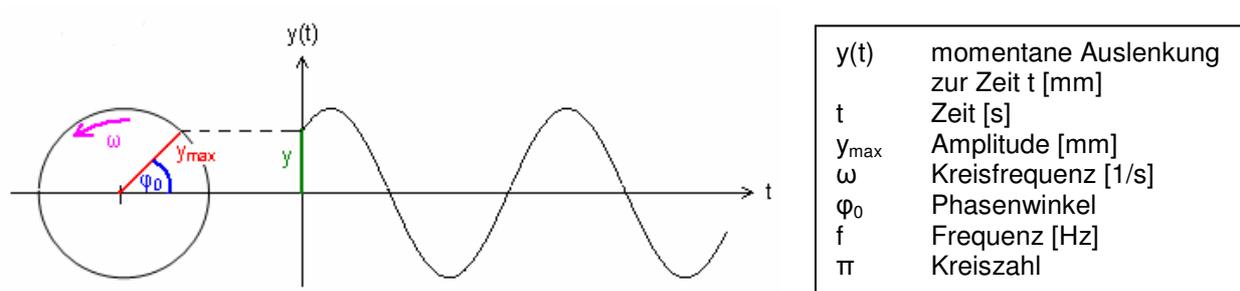


Abbildung 2: Sinusfunktion (Erbrecht et al., 1999)

Dabei entspricht $y(t)$ dem Weg, den ein Punkt auf der Platte durch die Vibrationen zurücklegt. Die 2. Ableitung der Weg-Zeit-Funktion entspricht der Beschleunigung $a(t)$ (2) der Vibrationsplatte (Erbrecht et al., 1999). Hat die Platte die maximale Auslenkung, so ist auch die Beschleunigung am grössten und der Auslenkung entgegen gerichtet (Reichhardt, 2009).

$$(2) \quad a(t) = - y_{\max} \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

Die maximale Beschleunigung a_{\max} ist die Amplitude der Beschleunigungs-Zeit-Funktion (3) (Erbrecht et al., 1999).

$$(3) \quad a_{\max} = - y_{\max} \cdot \omega^2$$

Da das Vorzeichen der Beschleunigung lediglich die Auf- oder Abwärtsbewegung der Vibrationsplatte bezeichnet, kann für den Praxisbezug laut Reichhardt (2009) der Betrag der Gleichung genommen werden (4).

$$(4) \quad a_{\max} = y_{\max} \cdot (2\pi \cdot f)^2$$

Bei gegebenen oder auswählbaren Parametern y_{\max} und f kann so die maximale Beschleunigung eines Körpers auf der Vibrationsplatte errechnet werden.

Laut Reichhardt (2009) ist es möglich, dass die Angaben der Hersteller über die Beschleunigungen der Vibrationsplatten nicht mit der Rechnung übereinstimmen. Gründe dafür können beispielsweise Reibungskräfte oder, im Falle der vertikalen Vibrationsmechanik, Dämpfungsmaterialien sein, die bei der Berechnung nicht berücksichtigt werden.

Das physikalische Gesetz von Newton besagt, dass die auf den Boden wirkende Kraft gleich dem Produkt von Masse und Beschleunigung (5) ist (Erbrecht et al., 1999).

$$(5) \quad F = m \cdot a$$

F	Kraft [N]
m	Masse [kg]
a	Beschleunigung [m/s^2]

Gemäss Reichhardt (2009) entspricht die Beschleunigung grundsätzlich der Fallbeschleunigung g ($g = -9.81 \text{ m/s}^2$), da ein Körper normalerweise nicht zusätzlich beschleunigt wird. Beim Vibrationstraining kommt hingegen zur Fallbeschleunigung die Beschleunigung der Vibrationsplatte a_{Platte} hinzu. Die resultierende Beschleunigung a_{res} der Platte auf den Körper (6) ergibt sich aus:

$$(6) \quad a_{\text{res}}(t) = a_{\text{Platte}}(t) - g$$

Die Platte muss immer eine Kraft entgegen der Schwerkraft ausüben. Daraus ergibt sich das Minuszeichen. Eingesetzt in die Formel (5) wäre die Kraft, gegen die es beim Vibrationstraining den Körper in aufrechter Position zu halten gilt (7), ein Vielfaches mehr als beim Stand auf dem Boden (Reichhardt, 2009).

$$(7) \quad F(t) = m \cdot (a_{\text{Platte}}(t) - g)$$

Auf das Vibrationstraining bezogen, entspricht die Masse dabei dem Körpergewicht des Trainierenden. Damit wird klar, dass der Körper beim Vibrationstraining grossen Kräften ausgesetzt ist. Gemäss Reichhardt (2009) sind diese physikalischen Rechnungen jedoch nicht direkt auf das Vibrationstraining übertragbar, da in den Rechnungen von einem statischen Körper ausgegangen wird. Der menschliche Körper kann aber nicht mit einem solchen gleichgestellt werden. Die Muskelarbeit und die Stellung der

Gelenke dämpfen die Vibrationen und gleichen so die enormen Kräfte aus. Zudem werden die Schwingungen im Körper, durch die unterschiedliche Dichte der verschiedenen Gewebe, verändert weitergeleitet (Harten, 2007).

3.3.2 Resonanz

Der menschliche Körper ist ein schwingungsfähiges System (Harten, 2007). Laut Beutler (2007) weisen beispielsweise Augen eine Eigenfrequenz von ungefähr 18 Hz und das Hirn eine Eigenfrequenz von etwa 20 Hz auf. Wird ein schwingungsfähiges System durch eine Energiequelle angeregt, kommt es zu einer Resonanz, einem Mitschwingen des Systems. Entspricht die Anregungsfrequenz nahezu der Eigenfrequenz des Systems, schaukelt sich die Amplitude durch die Überlagerung der Schwingungen auf. Sie wird grösser und wächst theoretisch ins Unendliche. Dies kann zu einer Zerstörung des Systems führen und wird Resonanzkatastrophe genannt (Harten, 2007). Beim Training auf einer Vibrationsplatte kann laut Beutler (2007) dasselbe geschehen. Die vom Gerät erzeugte Kraft wirkt auf den Körper, der dabei zum Mitschwinger wird. Sind die trainierenden Personen unfähig die Schwingungen genügend zu dämpfen, kann es zu einer Resonanzkatastrophe kommen und die Organe können Schädigungen davontragen. Der Übertragungsfaktor TF (Transmission Factor) gilt als Anzeigewert für die Übertragung von Schwingungen auf den menschlichen Körper. Dieser bildet sich aus dem Quotienten der Schwingungsamplitude am Kopf A_{Kopf} und der Amplitude der Vibrationsplatte A_{Platte} (8). Der Transmissionsfaktor weist darauf hin, ob Schwingungen vom Körper gedämpft ($TF < 1$) oder verstärkt ($TF > 1$) werden. Eine Verstärkung deutet eine Resonanz an (Kleinöder, Ziegler, Bosse & Mester, 2003; zit. nach Beutler, 2007, S.102).

$$(8) \quad TF = \frac{A_{\text{Kopf}}}{A_{\text{Platte}}}$$

4. Osteoporose

4.1 Definition

Osteoporose ist, laut der neuesten Definition durch das NIH (National Institut of Health, 2000), eine Skeletterkrankung, die durch eine unzureichende Knochenfestigkeit charakterisiert ist, welche zu einem erhöhten Frakturrisiko prädisponiert. In der Knochenfestigkeit spiegeln sich die zwei Haupteigenschaften Knochendichte und Knochenqualität wider. Unter Knochendichte versteht man den Mineralgehalt bezogen auf die Fläche. Die Knochenqualität bezieht sich auf die Mikroarchitektur, die Knochenumbaurate, die Schadensansammlungen und die Mineralisierung. Von der WHO (1994; zit. nach Lippuner, 2004) wurden zudem quantitative Kriterien für die Diagnose der Osteoporose festgelegt. Dabei ist die Definition auf den Knochenmineralgehalt reduziert. Diese wird mittels Doppelenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) gemessen. Die Definition basiert auf T-Score-Werten. Der T-Score-Wert gibt die Abweichung des Knochenmineralgehaltwertes in Standardabweichung vom maximalen Knochenmineralgehalt von jungen, gesunden, weissen erwachsenen Frauen an. Ist die Knochenmineraldichte grösser als - 1 Standardabweichung, gilt dies als in der Norm liegend. Bei einer Dichte zwischen - 1 und - 2.5 Standardabweichungen spricht man von einer Osteopenie. Liegt die Knochenmineraldichte unter - 2.5 Standardabweichungen, spricht man von Osteoporose (siehe Abbildung 3). Bestehen zusätzlich Knochenbrüche, liegt eine schwere Osteoporose vor.

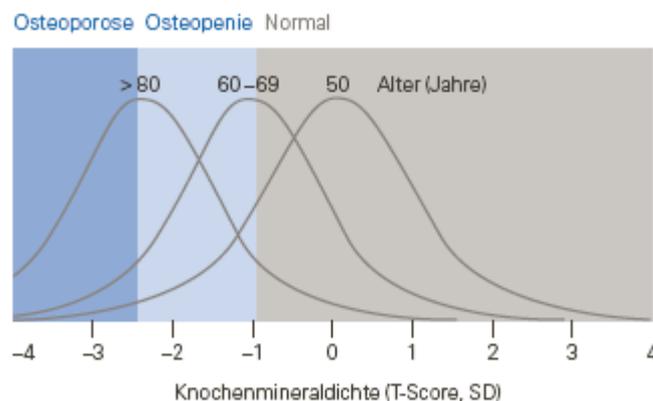


Abbildung 3: Verteilung der Knochenmineraldichte bei Frauen unterschiedlichen Alters (Lippuner, 2004, S. 8)

4.2 Klassifikation

Laut Ringe (1991) wird die Osteoporose, neben der klinischen Einteilung nach dem Schweregrad, zusätzlich pathogenetisch in eine primäre und sekundäre Osteoporose eingeteilt. Bei der primären Osteoporose ist häufig keine genaue Ursache festzustellen, die sekundäre ist hingegen auf eine vorangegangene Grunderkrankung zurückzuführen. Zur primären Osteoporose gehört unter anderem auch die postmenopausale Osteoporose. Laut Radspieler (2009) wird bei Frauen nach der Menstruationspause bis ins Alter von 65 Jahren von einer postmenopausalen Osteoporose gesprochen, danach von einer senilen Osteoporose. Der Übergang ist fließend. Teilweise sieht man eine Einteilung in Typ I-Osteoporose und Typ II-Osteoporose, wobei Typ I ungefähr der postmenopausalen Osteoporose und Typ II der senilen Osteoporose entspricht (Ringe, 1991).

Tabelle 2: Kriterien zur Unterscheidung von Typ I-Osteoporose und Typ II-Osteoporose

Parameter	Osteoporoseform	
	Typ I	Typ II
Alter	50–70	70–100
Geschlecht (w / m)	8 / 1	3 / 1
Art des Knochenverlustes	trabekulär > kortikal	trabekulär = kortikal
Hauptfrakturtyp	Wirbelkörper, dist. Radius	Wirbelkörper, prox. Femur, Humerus u.a.
Wichtige ätiologische Faktoren	Östrogenmangel (u.a. Risikofaktoren)	Altern (Involution*, Immobilität)

Quelle: Ringe, 1991, S. 13

Eine weitere Unterteilung kann in die High-turnover-Osteoporose* und Low-turnover-Osteoporose* gemacht werden. Ausschlaggebend für diese Klassifikation ist die Geschwindigkeit der Knochenabbaurate. Dabei weist die Knochenabbaurate verschiedene Faktoren auf. Entweder einen erniedrigten Knochenaufbau, einen erhöhten Knochenabbau oder aber eine Kombination aus beiden (Radspieler, 2009).

4.3 Ätiologie

Laut dem NIH (2000) kann das Risiko, später an Osteoporose zu erkranken, bereits in der Kindheit negativ beeinflusst werden, wenn beispielsweise durch zu wenig Sport

und Bewegung oder zu calciumarme Ernährung nicht genügend Knochenmasse aufgebaut wird. Wie viel Knochenmasse aufgebaut werden kann, ist genetisch festgelegt. Die maximal erreichbare Knochenmasse wird „peak bone mass“ oder übersetzt Gipfelknochenmasse genannt. Der Knochenaufbau ist etwa im 30. Lebensjahr beendet. Ob das Potenzial ausgeschöpft wird, hängt jedoch vom Lebensstil ab. Eine möglichst hohe Knochenmasse aufzubauen gilt als primäre Prävention. Als sekundäre Prävention werden Massnahmen bezeichnet, durch die ein bereits begonnener Knochenabbau gehemmt wird (siehe Abbildung 4) (Riggs, Wahner, Dunn, Mazess, Offord & Melton, 1991; zit. nach Lippuner, 2004).

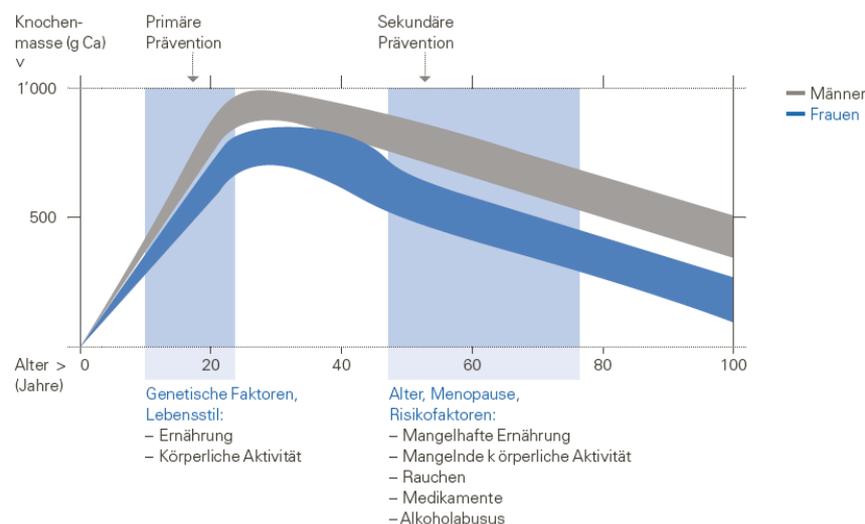


Abbildung 4: Veränderung der Knochenmasse mit zunehmendem Alter und Risikofaktoren (Lippuner, 2004, S. 12)

Laut van den Berg (2003) wird die Knochenmasse ständig umgebaut und den wechselnden Anforderungen des täglichen Lebens angepasst. Pro Jahr werden ungefähr fünf bis zehn Prozent der Knochen erneuert. Osteoblasten sind für den Knochenaufbau verantwortlich. Sie liegen im Bereich des Osteoids, des neu entstehenden Knochengewebes. Die Osteoblasten senken, nachdem sie sich in die Matrix eingebaut haben, ihre Aktivität und werden zu Osteozyten. Die Osteozyten können wieder aktiv werden, wenn sie von Osteoklasten, den knochenabbauenden Zellen, befreit werden. Bei der Osteoporose ist dieser Auf- und Abbau im Ungleichgewicht. Laut Radspieler (2009) bewirkt der Knochenmassenverlust eine Zerstörung der Knochenmikroarchitektur. Dabei ist vor allem der trabekuläre Knochen zuerst betroffen. Abbildung 5 zeigt links die

intakte Knochenmikrostruktur eines proximalen Femurs und eines Wirbelkörpers, rechts die Mikrostruktur bei osteoporotischen Knochen.

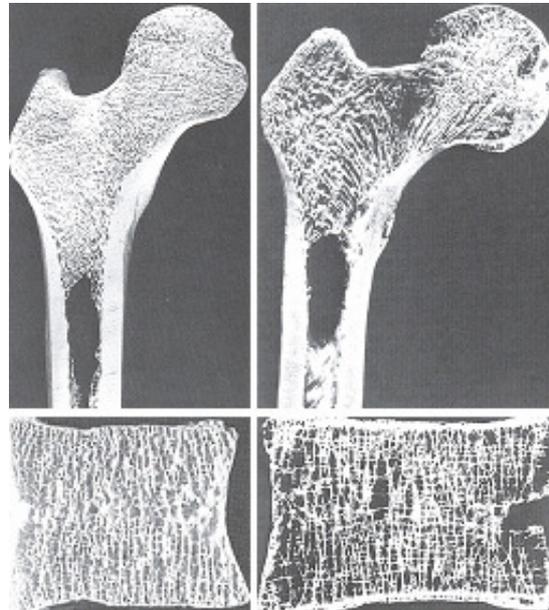


Abbildung 5: Mikrostruktur bei gesunden und osteoporotischen Knochen
(Bartl, 2008, S. 6/20)

Durch die Zerstörung der Mikroarchitektur steigt das Risiko für eine Fraktur. Die häufigsten Lokalisationen sind gemäss Ringe (1991) Radiusfrakturen, proximale Femurfrakturen und Wirbelkörperfrakturen. Laut Radspieler (2009) ist der Östrogenmangel ein möglicher Grund für den Knochenmassenverlust bei der postmenopausalen Osteoporose. Dieser Mangel führt laut Romas und Martin (1997; zit. nach Feldhaus, 2006) zu einer Erhöhung einzelner Zytokine*, welche zu einer verstärkten Aktivierung der Osteoklasten führen und die Vorläuferzellen der Osteoklasten zur Differenzierung und Proliferation stimulieren. Gleichzeitig findet durch den Östrogenmangel die Apoptose* der Osteoklasten nur noch vermindert statt. Die Folge ist eine verlängerte Lebensdauer der Osteoklasten sowie eine durch die Zytokine* verursachte Steigerung der Osteoklastenzahl.

5. Ergebnisse der Studien

In der Zusammenfassung der Studien werden nur Resultate beschrieben, die in Bezug auf den Knochen eine Relevanz aufweisen. Alle Autoren setzten die statistische Signifikanz bei $p < 0.05$ fest. Die nachfolgende Tabelle fasst die wichtigsten Ergebnisse zusammen und zeigt die gewählten Vibrationsparameter auf.

Tabelle 3: Vergleich der ausgewählten Studien

Autoren und Jahr	Probanden	Vibrationsparameter	Dauer und Häufigkeit des Vibrationstrainings	Prozentuale Veränderungen der Knochendichte durch Vibrationstraining
Ruan et al. (2008)	116 (66, 50) ^Δ < 80 Jahre ♀ mit Osteoporose	30 Hz 5 mm --- (vertikal oszillierende Plattform)	6 Monate 5x / Woche 10 min	LWS ↑ 4.3 % (+ 0.036 g/cm ²) Femurhals ↑ 3.2 % (+ 0.021 g/cm ²)
Gusi et al. (2006)	28 (14, 14) ^Δ mind. 5 Jahre nach der letzten Menstruation ♀	12.6 Hz 3 mm --- (Galileo [®] 2000)	8 Monate 3x / Woche 6x1 min mit 1 min Pause	Femurhals ↑ 2.5 % (+ 0.02 g/cm ²) Trochanter ↑ 1.5 % (+ 0.01 g/cm ²) Wardsches Dreieck* ↑ 6.3 % (+ 0.04g/cm ²) LWS ↑ 1.1 % (- 0.01 g/cm ²)
Iwamoto et al. (2005)	50 (25, 25) ^Δ 55–88 Jahre ♀ mit Osteoporose	20 Hz 0.7–4.2 mm --- (Galileo [®])	12 Monate 1x / Woche 4 min	LWS ↑ 10.2 % (+ 0.051 g/cm ²) → Alendronatzusatz!
Verschuere et al. (2004)	70 (25, 23, 22) ^Δ 58–74 Jahre ♀	35–40 Hz 1.7–2.5 mm 2.28–5.09 g (Powerplate [®])	6 Monate 3x / Woche 30 min	gesamte Hüfte ↑ 0.93 %
Rubin et al. (2004)	56 (28, 28) ^Δ 47–64 Jahre ♀	30 Hz 55 μm 0.2 g (vertikal oszillierende Vibrationsplatte)	12 Monate 7x / Woche 2x 10 min	Femurhals ↓ 0.69 % (- 0.005 g/cm ²) Trochanter ↓ 0.07 % (- 0.0004 g/cm ²) LWS ↓ 0.51 % (- 0.005 g/cm ²)
Russo et al. (2003)	29 (14, 15) ^Δ mind. 1 Jahr nach der letzten Menstruation ♀	12–28 Hz --- 0.1–10 g (Galileo [®] 2000)	6 Monate 2x / Woche 3x 1–2 min	Kortikale Tibia ↓ 0.2 % (- 0.002 g/cm ³)

^Δ Anzahl Probanden (Vibrationsgruppe, Kontrollgruppe, evtl. Krafttrainingsgruppe)
Frequenz (Hz), Amplitude (mm), maximale Beschleunigung (m/s² oder g = 9.81 m/s²)

Das Ziel der Studie von Ruan et al. (2008) bestand darin, die Effekte von Vibrations-training auf die Knochenmasse bei Frauen mit Osteoporose aufzuzeigen. Dazu wurden 116 Frauen nach der Menopause*, welche nicht älter als 80 Jahre waren, rekrutiert. Zu den Einschlusskriterien zählten, dass die Probanden entweder gemäss Definition der WHO eine Osteoporose aufwiesen oder bereits eine nicht-traumatische Fraktur erlitten hatten. Die Probanden wurden randomisiert in zwei Gruppen eingeteilt, eine Vibrationsgruppe (n = 66) und eine Kontrollgruppe (n = 50). Die Probanden der Vibrationsgruppe mussten während sechs Monaten wöchentlich fünf Trainingseinheiten von je zehn Minuten absolvieren. Dabei waren sie angewiesen, schulterbreit auf die vertikal oszillierende Plattform zu stehen und den Schwerpunkt vorwiegend auf die Fersen zu verlagern, um sicherzustellen, dass die Vibrationen gleichmässig nach oben geleitet werden. Die Kontrollgruppe bekam keine Intervention.

Mittels DXA-Methode wurde die Knochendichte der Wirbelsäule (L₂-L₄) und des Femurhalses ermittelt. Die Messungen erfolgten vor Beginn der Studie, nach drei Monaten und am Ende der Studie. Dabei wurde ersichtlich, dass die Knochendichte der Lendenwirbelsäule bei der Vibrationsgruppe bereits nach drei Monaten um 1.3 % (+ 0.011 g/cm²) und nach sechs Monaten signifikant um 4.3 % (+ 0.036 g/cm²) zugenommen hatte. Die Knochendichte der Kontrollgruppe hingegen hatte nach sechs Monaten signifikant um 1.9 % (- 0.014 g/cm²) abgenommen. Die Knochendichte des Femurhalses hatte sich bei der Vibrationsgruppe ebenfalls nach sechs Monaten signifikant um 3.2 % verbessert (+ 0.021 g/cm²). Die Knochendichte des Femurhalses der Kontrollgruppe verschlechterte sich signifikant um 1.7 % (- 0.01 g/cm²).

Laut Ruan et al. (2008) ist die unterschiedliche Ausrichtung der Knochen ein möglicher Grund für die positiveren Resultate der Knochendichte der lumbalen Wirbelsäule im Vergleich mit denen des Femurhalses.

Gusi et al. (2006) ermittelten, ob bei gesunden Frauen ein achtmonatiges Training auf einer Galileo[®]-Vibrationsplatte besser für die Knochendichte geeignet ist, als ein dreimal wöchentlicher Spaziergang. Hierfür schlossen sie 36 Frauen ein, welche mindestens fünf Jahre nach der letzten Menstruation waren, und teilten diese randomisiert in eine Vibrationsgruppe (n = 18) und eine Walking-Gruppe (n = 18) ein. Die Trainingssessionen der Walking-Gruppe dauerten jeweils eine Stunde, wobei nicht beschrieben wurde, wie hoch das Tempo und wie die Gegebenheiten der Unterlage waren. Die

Probanden der Vibrationsgruppe standen barfuss mit 60° Knieflexion auf der Vibrationsplatte. Die Trainingsintensität wurde innerhalb der ersten sechs Wochen kontinuierlich gesteigert, von zwei auf drei Trainingseinheiten und auf sechs Serien mit einer Dauer von je einer Minute.

Zu Beginn und nach acht Monaten wurde mittels DXA-Methode die Knochendichte des rechten Femurhalses, des rechten Trochanters, des Wardschen Dreiecks* sowie der lumbalen Wirbelsäule gemessen. Bei der Vibrationsgruppe hatte die Knochendichte des Femurhalses um 2.5 % (+ 0.02 g/cm²), die des Trochanters um 1.5 % (+ 0.01 g/cm²) und die des Wardschen Dreiecks* um 6.3 % (+ 0.04 g/cm²) zugenommen. Die Knochendichte der Wirbelsäule verschlechterte sich um 1.1 % (- 0.01 g/cm²). Alle Resultate waren nicht signifikant. Bei der Walking-Gruppe hatte die Knochendichte des Femurhalses um 2.6 % (- 0.02 g/cm²), die des Trochanters um 1.7 % (- 0.01 g/cm²) und die der Wirbelsäule um 1.2 % (- 0.01 g/cm²) abgenommen. Die Knochendichte des Wardschen Dreiecks* nahm um 0.58 % (+ 0.01 g/cm²) zu. Im Vergleich beider Gruppen hatte sich die Knochendichte der Vibrationsgruppe gegenüber der Walking-Gruppe beim Femurhals um 4.3 % (p = 0.011) signifikant verbessert. Die Knochendichte des Trochanters, des Wardschen Dreiecks* sowie der lumbalen Wirbelsäule zeigten im Gruppenvergleich keine signifikanten Unterschiede.

Laut Gusi et al. (2006) hat diese Studie ihre Limitation vor allem in der Anzahl der Probanden, welche die Chance auf ein statistisch signifikantes Ergebnis verringern.

Iwamoto, Takeda, Sato und Uzawa (2005) hatten zum Ziel herauszufinden, ob Vibrationsstraining den Effekt von Alendronat auf die lumbale Knochenmineraldichte sowie die Knochenumbaurate bei Frauen nach der Menopause* mit Osteoporose erhöhen kann. Alendronat ist ein Bisphosphonat*, das die Osteoklastenaktivität hemmt und Anwendung bei Osteoporose mit erhöhtem Knochenumbau findet (Pschyrembel®, 2004). Eingeschlossen in die Studie wurden 50 japanische Frauen, welche die Kriterien einer Osteoporose erfüllten. Die Frauen wurden nach dem Zufallsprinzip in zwei Gruppen eingeteilt, eine Interventionsgruppe (n = 25) und eine Kontrollgruppe (n = 25). Das körperliche Leistungsniveau der Teilnehmerinnen war zu Beginn nicht hoch und keine Frau betätigte sich während der 12-monatigen Studiendauer zusätzlich sportlich. Alle Studienteilnehmerinnen bekamen täglich 5 mg Alendronat und 800 mg Calcium* verabreicht. Die Interventionsgruppe trainierte einmal wöchentlich während vier Minuten auf

einer Galileo[®]-Vibrationsplatte. Dabei waren sie angewiesen mit flektierten Knien auf der Platte zu stehen, wobei in der Studie keine Angaben über den Winkel der Knieflexion gemacht wurden.

Vor Studienbeginn, nach sechs Monaten und nach zwölf Monaten wurden die Knochendichte der lumbalen Wirbelsäule (L₁–L₄) mittels DXA-Methode und die Konzentrationen von Calcium*, Phosphat* und alkalischer Phosphatase* gemessen. Der Mittelwert der Knochenmineraldichte der Lendenwirbelsäule hatte in beiden Gruppen signifikant zugenommen ($p < 0.0001$). Die Knochendichte der Interventionsgruppe verbesserte sich nach sechs Monaten um 3.8 % (+ 0.021 g/cm²) und nach zwölf Monaten um insgesamt 10.2 % (+ 0.051 g/cm²). Jene der Kontrollgruppe erhöhte sich vorerst um 4.4 % (+ 0.022 g/cm²) und war nach einem Jahr um 8.4 % (+ 0.042 g/cm²) gestiegen. Für die Calciumkonzentration und die Phosphatkonzentration konnten keine signifikanten Änderungen beobachtet werden. In beiden Gruppen hatte jedoch die Konzentration der alkalischen Phosphatase* ($p < 0.001$) signifikant abgenommen. Zwischen den beiden Gruppen gab es aber keine signifikanten Unterschiede. Durch das Vibrationstraining wurden die Knochendichte und die Knochenumbaurate somit nicht positiv beeinflusst. Laut Iwamoto et al. (2005) kann es daran liegen, dass die Studienperiode sowie die Interventionsdauer zu kurz gewesen sind, um eine signifikant positive Wirkung des Vibrationstrainings zu entdecken. Ausserdem wären die Resultate einer Interventionsgruppe ohne Alendronatzusatz interessant, da der Effekt des Vibrationstrainings nur bei Probanden mit Einnahme von Alendronat beobachtet wurde.

Verschueren, Roelants, Delecluse, Swinnen, Vanderschueren und Boonen (2004) untersuchten, ob ein sechsmonatiges Vibrationstraining einen Effekt auf den muskuloskelettalen Apparat hat. Hierfür wurden 70 Frauen zwischen 58 und 74 Jahren untersucht. Sie durften weder Krankheiten aufweisen noch Medikamente einnehmen, welche den Knochenmetabolismus oder die Muskelkraft beeinflussten. Die Probanden wurden randomisiert in eine Vibrationsgruppe (n = 25), eine Krafttrainingsgruppe (n = 22) und eine Kontrollgruppe (n = 23) eingeteilt. Der Auftrag für die Vibrationsgruppe beinhaltete diverse statische und dynamische Kraftübungen für die Knieextensoren, die während maximal 30 Minuten (inklusive Warm-up und Cool-down) auf der Powerplate[®] durchgeführt werden sollten. Alle Teilnehmer trugen dabei ähnliche Sportturnschuhe. Im Verlauf der Trainingszeit wurde die Intensität durch schwierigere Ausgangsstellungen, hö-

here Amplituden und Frequenzen sowie Verminderung der Erholungspausen gesteigert. Die Krafttrainingsgruppe führte während einer Stunde ein konventionelles Krafttraining an Trainingsgeräten für die Knieextensoren durch (inklusive ein 20-minütiges Aufwärmen an Ausdauergeräten). Die Intensität des Trainingsprogramms wurde über die Trainingsperiode von sechs Monaten verändert. Die Steigerung erfolgte von zwei auf drei Serien sowie durch eine Erhöhung des Trainingsgewichtes für das mögliche Repetitionsmaximum (RM) von 20 RM auf 8 RM. Die Kontrollgruppe erhielt keine Intervention und war angehalten, ihre Aktivitätsgewohnheiten nicht zu ändern.

Zu Beginn und nach sechsmonatiger Intervention wurden bei jedem Probanden mittels DXA-Methode die Knochenmineraldichte der gesamten Hüfte am rechten proximalen Femur und die Knochendichte der Lendenwirbelsäule gemessen. Weiter wurde eine Blutprobe genommen. Osteocalcin* und C-Telopeptide* dienten als Marker für die Knochenbildung und den Knochenabbau. Diese Daten wurden nun zwischen den Gruppen verglichen und statistisch ausgewertet. Bezüglich des Knochenumbaus wurden keine signifikanten Unterschiede innerhalb der Gruppen und im Gruppenvergleich beobachtet. Bei der Knochenmineraldichte waren hingegen signifikante Unterschiede ersichtlich. Insgesamt war bei der Vibrationsgruppe verglichen mit der Krafttrainingsgruppe der Effekt des sechsmonatigen Vibrationstrainings bezüglich der Knochenmineraldichte der gesamten Hüfte um 1.51 % ($p < 0.05$) und gegenüber der Kontrollgruppe um 1.53 % ($p < 0.01$) signifikant besser. Innerhalb der Vibrationsgruppe hatte sich die Knochenmineraldichte der gesamten Hüfte um 0.93 % (+ 0.008 g/cm²) signifikant verbessert. Hingegen wurden keine signifikanten Veränderungen bei der Krafttrainingsgruppe (- 0.51 %, - 0.004 g/cm²) und der Kontrollgruppe (- 0.62 %, - 0.005 g/cm²) festgestellt. Die Knochendichte der Lendenwirbelsäule veränderte sich in keiner Gruppe signifikant. Der Gruppenvergleich zeigte auch keine statistische Signifikanz.

Verschueren et al. (2004) nahmen an, dass der positivere Effekt des Vibrationstrainings auf die Knochenmineraldichte der Hüfte, im Gegensatz zu jener der Lendenwirbelsäule, auf die bessere lokale Absorption der Vibrationen zurückzuführen war.

Das Ziel der Studie von Rubin et al. (2004) war herauszufinden, ob Vibrationstraining den natürlichen Knochenverlust, welcher der Menopause* folgt, hemmen kann. Für die Studie rekrutierten sie 70 Frauen, die drei bis acht Jahre nach der Menopause* waren und täglich mindestens 500 mg Calcium* pro Tag einnahmen. Die Einteilung in eine

aktive Vibrationsgruppe (n = 33) und eine Placebo-Gruppe (n = 37) erfolgte zufällig und doppelt geblindet. Beide Gruppen wurden instruiert, in ruhigem Stand für täglich zweimal zehn Minuten auf einer vertikal oszillierenden Vibrationsplatte zu trainieren. Die Vibrationsplatte der Placebo-Gruppe war inaktiv, zeigte jedoch durch einen Piepton die Funktionstüchtigkeit an.

Mittels DXA-Methode wurde die Knochenmineraldichte des proximalen rechten und linken Femurs, der lumbalen Wirbelsäule sowie des ersten Drittels am distalen Radius gemessen. Diese Messungen erfolgten zu Beginn und in Abständen von drei Monaten. Ausserdem wurden am Anfang und Ende der Studie die Konzentrationen von Calcium*, Osteocalcin*, Hydroxyprolin*, Phosphat*, Parathormon* und alkalischer Phosphatase* in Blut- und Urinproben untersucht, um die Auswirkungen auf die Knochenumbaurate zu evaluieren. Aus den Resultaten war zu entnehmen, dass es in der Placebo-Gruppe einen Abfall von Hydroxyprolin* um 16 % im Gegensatz zu einer Abnahme von 3 % in der Vibrationsgruppe gab. Die Konzentration von Phosphat* nahm in der Vibrationsgruppe zudem um 1.3 % zu, in der Placebo-Gruppe um 4 % ab. Bei den restlichen analysierten Stoffen der Blut- und Urinproben konnten nach zwölf Monaten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Die Knochenmineraldichte des Femurhalses in der aktiven Gruppe nahm um 0.69 % (- 0.005 g/cm²) ab, die Werte der Kontrollgruppe verschlechterten sich um 0.27 % (- 0.002 g/cm²). Die Knochendichte des Trochanters nahm bei der aktiven Gruppe um 0.07 % (- 0.0004 g/cm²) und in der Placebo-Gruppe um 0.19 % (- 0.001 g/cm²) ab. Jene der Lendenwirbelsäule verschlechterte sich bei der Vibrationsgruppe um 0.51 % (- 0.005 g/cm²) und um 0.65 % (- 0.006 g/cm²) bei der Placebo-Gruppe. Alle Resultate waren nicht signifikant.

Rubin et al. (2004) stellten nach Auswertung der Resultate die Hypothese auf, dass der Effekt des Vibrationstrainings abhängig von der Trainingsbereitschaft und dem Körpergewicht der Frauen sein könnte. Dazu führten sie eine Post-hoc-Analyse* durch und teilten neue Kohorten ein. Wurden für die Auswertung der Ergebnisse nur jene Kohorte mit einer Compliance von 86 % berücksichtigt (keine Angaben zur Anzahl der Teilnehmenden), konnte bei der aktiven Gruppe ein Gewinn der Knochendichte des Femurhalses von 2.17 % gegenüber der Placebo-Gruppe festgestellt werden (p = 0.06). Ähnliche Resultate waren für die Trochanterregion (+ 1.23 %, p = 0.21) und die Lendenwirbelsäule (+ 1.5 %, p = 0.09) zu beobachten. Im Vergleich einer Kohorte mit hoher Compliance (> 80 %) und einer mit niedriger Compliance (< 60 %) konnte festgestellt

werden, dass die Knochendichte der Lendenwirbelsäule bei hoher Compliance um 0.1 % und bei niedriger Compliance um 1.55 % abnahm. Die prozentuale Veränderung der Knochendichte der Trochanterregion und des Femurhalses betrug bei der hohen Compliance-Gruppe + 0.76 % beziehungsweise + 0.04 %, die der niedrigen Compliance-Gruppe - 0.5 % respektive - 1.18 %. Den distalen Radius betreffend waren keine signifikanten Unterschiede zu verzeichnen. Um die Wirksamkeit der Intervention in Abhängigkeit des Körpergewichtes zu untersuchen, wurden Kohorten mit unterschiedlichen Gewichtsklassen (> 65 kg und < 65 kg) gebildet. Die Daten veranschaulichten, im Vergleich der aktiven und Placebo-Gruppe, eine erhebliche Zunahme der Wirksamkeit der Therapie, wenn nur Probanden mit hoher Compliance und leichtem Körpergewicht berücksichtigt wurden. Bei der leichteren Kohorte mit der höchsten Compliance von 86 % war ein Knochenverlust von 3.17 % in der Placebo-Gruppe zu beobachten und ein Gewinn von 0.18 % in der aktiven Gruppe. Ähnlich fielen die Resultate beim Femurhals aus, bei dem der Verlust bei 2.23 % in der Placebo-Gruppe und lediglich bei 0.13 % in der aktiven Gruppe war.

Rubin et al. (2004) kamen zum Schluss, dass bei einer 100 % Compliance, sprich bei Probanden, welche 20 Minuten pro Tag auf der Vibrationsplatte stehen, eine Zunahme der Knochenmineraldichte der Lendenwirbelsäule von 7 % und des Trochanters von 8 % möglich wäre.

Russo, Lauretani, Bandinelli, Bartali, Cavazzini, Guralnik und Ferrucci (2003) untersuchten die Auswirkungen eines Vibrationstrainings auf die Anpassung der Knochenfestigkeit bei Frauen. Es wurden 33 Frauen in die Analyse der Studie eingeschlossen. Die Probanden durften an keiner metabolischen Knochenerkrankung leiden und mussten seit mindestens einem Jahr in der Postmenopause* sein. Vor Beginn der Studie nahmen alle Frauen während drei Monaten täglich 1 g Calcium* und 0.25 µg Vitamin D* zu sich, um den Einfluss einer unzureichenden Aufnahme von Calcium* oder Vitamin D* zu vermeiden. Die Probanden wurden randomisiert in eine Vibrationsgruppe (n = 17) und eine Kontrollgruppe (n = 16) eingeteilt. Das Vibrationstraining auf einer Galileo®-Platte wurde mit leicht flektierten Knien durchgeführt. Die Frequenz wurde innerhalb des ersten Monats von 12 Hz auf 28 Hz erhöht und die Seriedauer von einer Minute auf zwei Minuten gesteigert, um eine Gewöhnung an die neue Trainingsmethode zu ermöglichen.

Mittels peripherer quantitativer Computertomographie wurde die Knochendichte, Knochenmasse und Knochenstruktur der Tibia untersucht. Mittels Blut- und Urinproben wurden diverse biochemische Faktoren der Knochenumbaurate erfasst. Die Resultate zeigten, dass die kortikale Knochendichte bei der Vibrationsgruppe um 0.2 % (- 0.002 g/cm³) abnahm, während sie sich in der Kontrollgruppe signifikant um 0.7 % (- 0.008 g/cm³) verschlechterte. Hinsichtlich der kortikalen Knochendichte wurden im Vergleich der beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede festgestellt ($p = 0.09$). Alle anderen Knochenparameter, eingeschlossen Indikatoren für die Knochenumbaurate, änderten sich in beiden Gruppen nicht signifikant.

Russo et al. (2003) geben als Limitationen der Studie die kleine Anzahl Teilnehmer und die kurze Dauer der Intervention an.

6. Diskussion

6.1 Vibrationsparameter

Frequenz, Amplitude, Beschleunigung und Art der Vibrationsplatten variieren in den Studien sehr. Der Vergleich zwischen den Studien erwies sich deshalb als schwierig. Bei Ruan et al. (2008), Rubin et al. (2004) und Verschueren et al. (2004), welche die Intervention auf einer vertikal oszillierenden Vibrationsplatte durchführten, reichten die Frequenzen von 30 Hz bis 40 Hz. Gusi et al. (2006), Iwamoto et al. (2005) und Russo et al. (2003), bei welchen auf einem Galileo[®]-Vibrationsgerät trainiert wurde, wählten Frequenzen zwischen 12 Hz und 28 Hz. Welche Frequenzen am optimalsten für die Verbesserung der Knochendichte waren, zeigten die Ergebnisse der untersuchten Studien nicht auf. Rubin, Pope, Fritton, Magnusson, Hansson und McLeod (2003) erhielten mit einer eigenständigen Untersuchung jedoch interessante Ergebnisse bezüglich der Frequenzen. In den Untersuchungen wurde während des Vibrationstrainings auf einer vertikal oszillierenden Plattform, bei langsam steigender Frequenz von 15 auf 35 Hz, die Übertragbarkeit der Vibrationen auf den Knochen gemessen. Die Resultate zeigten, dass die Übertragbarkeit der Vibrationen auf die Hüfte bei Frequenzen von 15 Hz bis 20 Hz besser war, als bei Frequenzen von 20 Hz bis 35 Hz. Auf die Wirbelsäule nahmen die unterschiedlichen Frequenzen hingegen nur einen geringen Einfluss. Obwohl Rubin et al. (2003) herausfanden, dass Schwingungen mit Frequenzen von 15 Hz bis 20 Hz besser übertragen werden als Schwingungen mit höheren Frequenzen, wählten Ruan et al. (2008), Rubin et al. (2004) und Verschueren et al. (2004) für die Intervention in ihren Studien nie eine Frequenz unter 30 Hz. Gut vorstellbar wäre, dass aufgrund der von Beutler (2007) beschriebenen möglichen Resonanzkatastrophe keine niedrigeren Frequenzen gewählt wurden. Eine Resonanzkatastrophe ist jedoch nach Meinung der Autorinnen eher unwahrscheinlich, da die Probanden mit flektierten Knien auf der Vibrationsplatte standen und die Übertragungsrates laut Rubin et al. (2003) beim Stand mit 20° Knieflexion nur noch 30 % beträgt. Eine weitere Möglichkeit wäre, dass von einer guten Übertragung der Vibrationen auf den Knochen nicht auf eine hohe Zunahme der Knochendichte geschlossen werden kann. So empfehlen Delecluse, Roelants und Verschueren (2003; zit. nach Burkhardt, 2006) beispielsweise für die Verbesse-

rung der Knochendichte beim vertikal oszillierenden System eine Frequenz von über 30 Hz und Rittweger (1998; zit. nach Burkhardt, 2006) gibt für das Wippsystem eine Frequenz von 20 Hz bis 30 Hz an.

Die Amplituden reichen in den Studien von 55 μm (Rubin et al., 2004) bis 5 mm (Ruan et al., 2008). Eine Aussage, welche Amplitude für das Vibrationstraining am effektivsten ist, kann nicht gemacht werden. Kommt hinzu, dass beim Training auf einer Galileo[®]-Vibrationsplatte der Nachweis, mit welcher Amplitude trainiert worden ist, nicht genau erfolgen kann, da je nach dem mit welcher Spurbreite die Probanden trainierten, die Amplituden verändert wurden.

Aus physikalischer Sicht kann laut Reichhardt (2009) folgende Schlussfolgerung gezogen werden. Je grösser die Amplitude und die Frequenz, desto höher sind die Kräfte, gegen die es den Körper zu stabilisieren gilt. In den Studien war die Verbesserung der Knochendichte jedoch nicht proportional zu einer höheren Amplitude oder Frequenz.

6.2 Trainingsart

Der unterschiedliche Aufbau der einzelnen Studien bezüglich Interventionsdauer, Trainingsdauer und Trainingshäufigkeit, Übungsausführungen sowie die verschiedenen Trainingsgeräte machten es schwierig die Studien miteinander zu vergleichen. Kommt hinzu, dass Russo et al. (2003), Verschueren et al. (2004) und Gusi et al. (2006) die Trainingsintensität innerhalb der Interventionsdauer zusätzlich steigerten.

Generell erwies sich eine längere Interventionsdauer positiver auf die Zunahme der Knochenmineraldichte, als eine kürzere. Dies belegen Ruan et al. (2008) und Iwamoto et al. (2005). Ihre Knochendichtemessungen erfolgten in der Hälfte sowie am Ende der Interventionsdauer und zeigten bei der zweiten Messung ein besseres Resultat. Eine Aussage über die optimale Interventionsdauer und inwieweit sich die Knochendichte steigern lässt, kann jedoch nicht gemacht werden, da die längste Studienzeit zwölf Monate nicht überstieg. Rubin et al. (2003) zeigten zudem, dass die Trainingshäufigkeit einen Einfluss auf das Ergebnis der Intervention nimmt. Frauen, welche fast jeden Tag trainierten, erhielten einen signifikant besseren Anstieg der Knochenmineraldichte als solche, welche weniger oft auf der Vibrationsplatte standen. In den Studien von Gusi et al. (2006) und Russo et al. (2003) ist deshalb die Trainingshäufigkeit eine mögliche Er-

klärung für die schlechten Resultate bezüglich der Knochenmineraldichte. Die Probanden trainierten bei diesen Studien nur ein- beziehungsweise zweimal pro Woche.

Aussagen über die optimale Dauer eines einzelnen Trainings zu machen, ist schwierig. In den Studien reichen die Trainingszeiten von vier Minuten bis 30 Minuten. Laut führenden Herstellern von Vibrationsgeräten empfiehlt sich eine Trainingszeit von zehn Minuten. (Galileo[®] Training, 2009; Power Plate[®] International Limited, 2001–2009)

Bezüglich der Übungsauswahl und Übungsdurchführung ist den Studien gemeinsam, dass die Probanden statisch auf den Vibrationsplatten standen und keine Übungen ausführten. Eine Ausnahme stellen Verschueren et al. (2004) dar, bei welchen statische und dynamische Kniebeugen gemacht wurden. Das Ausmass der Knie- und Hüftflexion unterschied sich in den Studien. Die Vermutung liegt nahe, dass durch eine grössere Knieflexion die Übertragung der Vibrationen auf die Hüfte und die Wirbelsäule, aufgrund einer vermehrten Dämpfung, abgeschwächt wird. So zeigten Rubin et al. (2003), dass die Übertragungsrage auf die Hüfte im aufrechten Stand höher war, als bei 20° Knieflexion. Eine wichtige Komponente für die Dämpfung der Vibrationen ist zudem das Schuhwerk. Dieser Punkt ist jedoch lediglich in zwei Studien beschrieben (Gusi et al., 2006; Verschueren et al., 2004). Schuhe stellen, wie die flektierten Gelenke, eine Dämpfung dar. Je besser die Schuhe dämpfen, desto weniger Vibrationen gelangen in den Körper. Ein barfüssiges Training wäre eine Alternative zum Training mit Schuhen, um eine bessere Übertragung der Vibrationen zu erreichen. Mögliche Nebenwirkungen dürfen jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Eine grosse Rolle beim Vibrationstraining spielt die Bauart der Geräte. Ruan et al. (2008), Rubin et al. (2004) und Verschueren et al. (2004) benutzten eine vertikal oszillierende Vibrationsplatte, Gusi et al. (2006), Iwamoto et al. (2005) und Russo et al. (2003) ein Galileo[®]-Vibrationsgerät. Bei den untersuchten Studien konnten, in Zusammenhang mit den Geräten, keine Unterschiede bezüglich der Verbesserung der Knochendichte ausgemacht werden. Untersuchungen zeigten, dass die Dämpfung beim Wippsystem optimaler als beim vertikalen System ist, da die Kräfte in mehreren Bewegungsrichtungen verwandelt werden können. Bei stehender Haltung und tiefer Kniebeugung waren die gemessenen Kräfte auf Kopfhöhe weniger als 1 % (Kleinöder, 2003; zit. nach Burkhardt, 2006) der eingeleiteten Kräfte, beim vertikalen System waren es 20 % (Spitzenpfeil, 1999; zit. nach Burkhardt, 2006). Die Aussage, welches System für die Verbesserung der Knochendichte optimaler ist, fehlt. Es liegt jedoch nahe,

dass speziell für die Zunahme der Knochendichte eine bessere Weiterleitung der Vibrationen und somit eine weniger starke Dämpfung von Vorteil ist.

6.3 Messmethoden und Messorte

In allen Studien wurden die Effekte des Vibrationstrainings auf die Knochen mittels der DXA-Methode gemessen. Eine Ausnahme stellten Russo et al. (2003) dar, die Gebrauch von der peripheren quantitativen Computertomographie (pQCT) machten. Mittels der pQCT-Methode kann die Knochendichte (g/cm^3) gemessen und eine bildliche Darstellung der Knochenfeinstruktur gemacht werden. Die DXA-Messmethode gibt in der Messung den Mineralgehalt pro Fläche (g/cm^2) und nicht, wie häufig angenommen, die Knochendichte wider. Eine bildliche Darstellung der Knochen ist mit dieser Methode nicht möglich (Radspieler, 2006).

In dieser Arbeit sind für das bessere Verständnis und der Einfachheit halber die Werte der Messungen, welche mit der DXA-Methode gemacht wurden, als Knochendichte oder Knochenmineraldichte bezeichnet. Teilweise wurden diese Begriffe auch in den gelesenen Studien so verwendet.

Anhand der DXA-Messung kann der T-Score, welcher die gemessene Knochendichte an der jeweiligen Körperstelle im Vergleich zu den entsprechenden Normwerten zeigt, beschrieben werden. Somit können die von der WHO erstellten quantitativen Kriterien für die Diagnose der Osteoporose zur Einteilung benutzt werden. Trotz diesem durch die WHO anerkannten Messgerät gibt es jedoch einige Punkte, die bei der DXA-Methode in Frage gestellt werden müssen. Mit diesem Messverfahren kann, im Gegensatz zur pQCT-Methode, nicht zwischen trabekulärem und kortikalem Knochen unterschieden werden (Radspieler, 2006). Dies wäre jedoch sinnvoll, da die zwei Knochenbausteine eine unterschiedliche Struktur, ein unterschiedliches Stoffwechselverhalten und eine unterschiedliche Dichte aufweisen. Die Dichte des kortikalen Knochens ist laut Radspieler (2006) rund zwanzig Mal höher als jene des trabekulären Knochens, die Umbaurate jedoch langsamer. Daher ist bei der Osteoporose meist zuerst der trabekuläre Knochen betroffen. Da die DXA-Methode nur die Gesamtdichte des Knochens misst, können die Resultate einer Person mit einem hohen Anteil an kortikalem Knochen gegenüber einer Person mit niedrigem Anteil besser ausfallen. Laut Radspieler (2006) kann es daher zu verfälschten Knochendichtemessungen kommen. Dies kann

für die Resultate der Studien entscheidend sein, da bei der Rekrutierung der Probanden nur die gesamte Knochendichte betrachtet wurde, und so möglicherweise Frauen teilnahmen, die laut Definition eine Osteoporose hatten, jedoch noch eine normale trabekuläre Struktur besaßen, aber einen geringen Anteil an kortikalem Knochen aufwiesen. Zudem gibt es bei den Messorten Unterschiede im Verhältnis der beiden Knochentypen. Wirbelkörper haben beispielsweise einen höheren Anteil an trabekulärem Knochen als der Femur. Wird an einer Stelle gemessen, an welcher der Knochen im Verhältnis mehr trabekuläre Strukturen besitzt, kann angenommen werden, dass sich dort schneller ein signifikanter Unterschied feststellen lässt, als an einer Stelle mit überwiegend kortikalem Knochenanteil. Dies ist eine mögliche Erklärung für die von Rubin et al. (2008) und Rubin et al. (2003) erhaltenen Studienergebnisse. Dort hatte die Knochendichte der Wirbelsäule mehr zugenommen, respektive weniger abgenommen, als die Werte der Knochendichte des Femurs.

Die Messungen mittels DXA-Methode beruhen zudem einseitig auf dem Knochenmineralsalzgehalt. Andere Faktoren wie die Knochenfestigkeit, darunter auch die Mikroarchitektur oder der Knochenumbau sowie der Verlust der intratrabekulären Struktur werden nicht erfasst. Die Erfassung dieser Daten wäre jedoch laut der neuesten Osteoporosedefinition durch die NIH (2000), welche die Osteoporose als unzureichende Knochenfestigkeit definiert, sinnvoll. Gemäss dieser prädisponiert vor allem der Verlust der intratrabekulären Struktur, und nicht nur der Dichteverlust, zu einem erhöhten Frakturrisiko.

Aus diesen Gründen stellt sich die Frage der Validität der Messmethode, da durch das Vibrationstraining eine Verminderung des Frakturrisikos erreicht werden möchte. Deshalb wäre es interessant, wenn mehr Studien die pQCT-Methode verwenden würden, um zu evaluieren, ob das Vibrationstraining nicht nur auf die Knochendichte, sondern auch auf die Knochenstruktur eine Wirkung zeigt.

Je nach Messort können, unabhängig von der Messmethode, die Werte des Mineralgehaltes unterschiedlich ausfallen. Laut Santeler (2002) kann das Wardsche Dreieck*, aufgrund seines speziellen anatomischen-funktionellen Knochenaufbaus, schneller einen nahenden Knochenverlust anzeigen, als andere Bereiche. Umgekehrt kann es auch ein erstes positives Zeichen für einen Knochenaufbau, sprich für den Effekt des Vibrationstrainings auf den Knochen sein. Dies sieht man in der Studie von Gusi et al. (2006). Beim Wardschen Dreieck* konnte die grösste Zunahme des Mineralgehalts

beobachtet werden. Die Verbesserung betrug 0.04 g/cm^2 im Gegensatz zu 0.01 g/cm^2 beim Trochanter. Verschueren et al. (2003), Rubin et al. (2003), Iwamoto et al. (2005) und Ruan et al. (2008) geben lediglich den total gemessenen Mineralgehalt der Hüfte an. Wären auch die Veränderungen des Wardschen Dreiecks* gemessen und angegeben worden, wären einige Resultate der Knochendichte eventuell statistisch signifikant gewesen, welche auf die gesamte Hüfte bezogen keine Signifikanz aufwiesen. Aufgrund der unterschiedlichen Messorte war es schwierig die Resultate der einzelnen Studien miteinander zu vergleichen und daraus Schlüsse für einen besseren oder schlechteren Erfolg zu ziehen.

6.4 Bezug zur Fragestellung

Unsere Frage zu Beginn lautete, ob Ganzkörpervibrationstraining das osteoporotisch bedingte Frakturrisiko bei Frauen nach der Menopause* positiv beeinflussen kann. Das Frakturrisiko ist abhängig von der Knochenfestigkeit und vom Sturzrisiko (Radspieler, 2009). Zur Knochenfestigkeit tragen hauptsächlich zwei Komponenten bei, nämlich die Knochenstruktur und die Knochendichte (National Institut of Health, 2000).

In den sechs ausgewählten Studien wurde die Wirkung des Vibrationstrainings auf die Knochendichte untersucht. In drei Studien (Iwamoto et al., 2005; Russo et al., 2003; Verschueren et al., 2004) wurde zusätzlich die Knochenumbaurate mittels verschiedener Knochenmarker analysiert, jedoch wurden keine signifikanten Effekte festgestellt. Die Studien von Gusi et al. (2006), Ruan et al. (2008) und Verschueren et al. (2004) zeigten bezüglich der Knochendichte einen signifikant positiven Effekt, sowohl in der Gruppe selbst, als auch im Gruppenvergleich. In drei von sechs Studien (Iwamoto et al., 2005; Rubin et al., 2004; Russo et al., 2003) konnten dem Vibrationstraining keine signifikanten Effekte auf die Knochendichte zugeschrieben werden. Die statistische Signifikanz wurde von allen Autoren bei $p < 0.05$ festgesetzt. Der p-Wert sagt jedoch nichts über das Ausmass und den klinischen Nutzen der Intervention aus, sondern nur über die Übertragbarkeit der Ergebnisse. Rein mathematisch ist vorgegeben, dass bei einer hohen Anzahl Probanden eher eine Signifikanz erreicht wird, als bei einer kleinen Studienteilnehmerzahl (Meichtry, 2008). Bei den untersuchten Studien war diese Zahl eher gering und reichte von 28 bis 116 Teilnehmern. Um klinisch nützlich zu sein, müssen die Effekte der Therapie nicht signifikant, sondern gross genug sein. Dies

ist gerade bei Studien, welche die Zunahme der Knochendichte beurteilen, wichtig. So wurde errechnet, dass mit zunehmendem Alter die Knochendichte bei Frauen pro Jahr im Femurhals um $0,005 \text{ g/cm}^2$ (95 % CI, $-0,001$ bis $-0,006$) und um $0,006 \text{ g/cm}^2$ (95 % CI, $0,00$ bis $-0,007$) in der Lendenwirbelsäule abnehmen würde (Lodder, Lems, Ader, Marthinsen, Coeverden, Lips, Netelenbos, Dijkmans & Roos, 2004; zit. nach Gusi et al., 2006). Diese Zahlen zeigen, dass schon eine stabile Knochendichte nach einem zwölfmonatigen Vibrationstraining einem Knochenverlust entgegenwirken kann. Bereits eine Verlangsamung der Abnahme der Knochendichte ist also klinisch relevant. Die Wirkung des Vibrationstrainings auf die Knochenstruktur wurde in den Studien nicht untersucht.

Für den Einfluss des Vibrationstrainings auf die Knochenfestigkeit ist der piezoelektrische Effekt eine mögliche Erklärung. Unter dem piezoelektrischen Effekt versteht man die Entstehung elektrischer Ladungen bei unter Druck stehenden Oberflächen, die sich positiv auf die Knochenneubildung auswirkt. Muskelzug, Druck und Schwerkraft, die durch das Vibrationstraining verstärkt werden, wirken als Belastung auf den Knochen ein. Dabei verteilen sich die Ladungen im Knochengewebe um. Die konkave Seite des Knochens wird negativ, die konvexe Seite wird positiv. In Abbildung 7 ist dies dargestellt. Die negative Ladung begünstigt die Anlagerung von positiv geladenen Teilchen wie zum Beispiel Calcium* (Zalpour, 2006). Calcium* ist gemäss van den Berg (2003) wichtig für die Knochenfestigkeit und Knochenstabilität, denn der Knochen besteht zu 60 % aus Calciumverbindungen. Die Belastung auf die Knochenstruktur ist daher entscheidend für die Knochenneubildung.

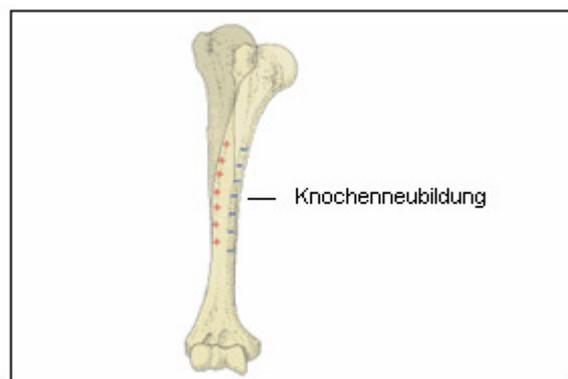


Abbildung 6: Neubildung von Knochen aufgrund des piezoelektrischen Effektes (Zalpour, 2006, S. 602)

Grundsätzlich stellt das Vibrationstraining an sich eine weitere Erklärung für die positive Wirkung auf den Knochen dar. Vibrationstraining bedeutet laut Reichhardt (2009), dass der Körper grossen Kräften ausgesetzt ist, was einer hohen Belastung gleichkommt. Laut Zalpour (2006) ist körperliche Aktivität mit hoher Belastung und kleiner Wiederholungszahl besser für die Anregung der Knochenneubildung als niedrige Belastung mit vielen Wiederholungen. Das Vibrationstraining entspricht genau dieser Trainingsform. Damit wären mögliche Erklärungen gegeben, wie das Vibrationstraining sich positiv auf die Knochenfestigkeit auswirken kann. Um das Frakturrisiko bei Frauen mit Osteoporose zu verringern, muss jedoch nicht nur die Knochenfestigkeit verbessert werden, sondern auch das Sturzrisiko. Stürze im Alter geschehen häufig aufgrund einer reduzierten Muskelkraft der unteren Extremitäten sowie Einbussen in Gleichgewicht und anderen Koordinationsfähigkeiten (Gusi et al., 2006).

Um die Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Kraft zu beurteilen, wurden die Reviews von Nordlund und Thorstensson (2007) sowie Rehn, Lidström, Skoglund und Lindström (2007) herbeigezogen. Nordlund et al. (2007) untersuchten Studien, die Vibrationstraining mit konventionellem Krafttraining verglichen. Insgesamt wurden zwölf Artikel in der Analyse ausgewertet. Sieben davon befanden die Autoren als nicht aussagekräftig, da die Krafttrainingsgruppe nicht dieselben Übungen durchführte wie die Vibrationsgruppe. Ein Vergleich zwischen diesen Gruppen war daher zwecklos. In den Studien, bei denen die Krafttrainingsgruppe die gleichen Übungen machte wie die Vibrationsgruppe, waren keine signifikanten Gruppenunterschiede ersichtlich. Beide Gruppen verbesserten sich aber bezüglich der Kraft jeweils signifikant. Das Vibrationstraining zeigte also keinen Vorteil, jedoch auch keinen Nachteil gegenüber dem konventionellen Krafttraining. Rhen et al. (2007) schlossen in ihren Review 19 Studien ein. Sie fanden es ebenfalls schwierig die Studien und Ergebnisse miteinander zu vergleichen, da die Vibrationsparameter und Übungen sehr unterschiedlich waren. Sie kamen jedoch zum Schluss, dass das Vibrationstraining vor allem bei untrainierten Personen und älteren Frauen einen positiven Effekt auf die Beinmuskulatur zeigt. Dies ist nicht erstaunlich, da sich normalerweise bei untrainierten Personen und älteren Frauen relativ schnell ein positives Ergebnis einstellt, da sie weniger körperliche Belastung gewohnt sind. Bei den untersuchten Studien von Nordlund et al. (2007) und Rhen et al. (2007) wurden auf der Vibrationsplatte immer dynamische Kräftigungsübungen oder eine statisch gehaltene tiefe Knieflexion durchgeführt, was einer hohen körperlichen

Belastung gleichkommt. Daraus kann gefolgert werden, dass vor allem die Übungen verantwortlich für den Kraftzuwachs der unteren Extremitäten waren. Interessant wäre zu sehen, ob bei statisch gehaltener Ausgangsstellung mit höchstens 20° Knieflexion ebenfalls ein Kraftzuwachs beobachtet werden könnte, da diese Position nur eine geringe Anstrengung erfordert.

Laut dem Newtonschen Gesetz setzt sich die Kraft aus dem Produkt von Masse und Beschleunigung zusammen. Verbessert man eine dieser beiden Komponenten, vergrößert sich auch die Kraft, die auf den Körper wirkt. Beim konventionellen Krafttraining geschieht das durch Trainingsgewichte oder Übungen mit dem eigenen Körpergewicht. Das Vibrationstraining hingegen macht sich die Beschleunigung zu Nutze (Power Plate® International Limited, 2001–2009). Deshalb wäre ein Kraftzuwachs bereits beim Training auf einer Vibrationsplatte mit gehaltener Position ohne zusätzlich gemachte Übungen denkbar. Die Vibrationen, die eine Beschleunigung mit sich bringen, wirken auf den Körper und verursachen regelmässig eine leichte Verstellung der Gelenkpositionen. Die Muskulatur erfährt dadurch jeweils eine Dehnung. Um die Gelenke zu stabilisieren, reagieren die Muskeln mit einer Kontraktion und halten die Muskellängen damit konstant. Für die Wahrnehmung der Muskellänge und Muskellängenveränderung sind laut van den Berg (2003) die Muskelspindeln verantwortlich, die in der gesamten Muskulatur vorkommen und parallel zu den quergestreiften Muskelfasern liegen. Sie können auf zwei Wegen aktiviert werden, einerseits durch Dehnung, andererseits durch Kontraktion. Schnell leitende sensible Ia-Fasern umspinnen den mittleren, dehnbaren Teil der Muskelspindel. Bei Dehnung des Muskels werden Signale zum Hinterhorn der grauen Substanz des Rückenmarks gesendet. Dort wird der Impuls zum Vorderhorn umgeschaltet und monosynaptisch auf Alpha-Motoneurone umgeleitet, die eine Kontraktion des Muskels erreichen. Parallel verzweigt sich das Alpha-Motoneuron zur Renshaw-Zelle, die einen hemmenden Einfluss auf das Alpha-Motoneuron hat, damit die Kontraktion des Muskels nur kurzfristig erfolgt. Diese Rückwärtshemmung ist verantwortlich für die Aufrechterhaltung einer konstanten Muskellänge. Der hier beschriebene Vorgang einer Kontraktion als Antwort auf eine Dehnung wird als Muskelspindelreflex bezeichnet (Buchta & Sönnichsen, 2003) und ist schematisch in Abbildung 8 dargestellt. Für die Aufrechterhaltung des Muskeltonus spielen zusätzlich die Gamma-Motoneuronen und die sensiblen Typ II-Fasern eine Rolle.

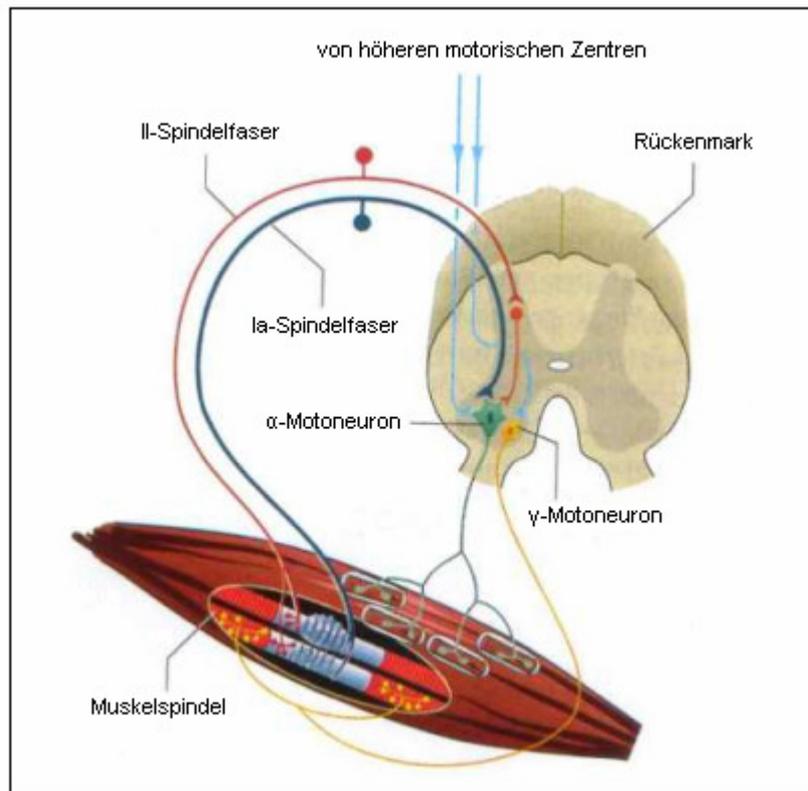


Abbildung 7: Schematische Darstellung des Muskelspindelreflexes (Frings, 2009)

Laut Allemann (2009) entstehen bei einer Frequenz bis ungefähr 12 Hz noch keine reflexinduzierten Muskelkontraktionen. Die Reaktion auf die Vibrationen wird bis dahin vom Zentralnervensystem gesteuert. Bei Frequenzen höher als 12 Hz reicht die Zeit dafür nicht mehr aus. Die Antwort erfolgt auf Rückenmarksebene mittels Muskelspindelreflex. Die Zeit, die eine schnell zuckende Typ-II-Muskelfaser benötigt um zu kontrahieren und wieder zu erschlaffen, variiert gemäss Allemann (2009) zwischen 30 ms und 50 ms. Bis ungefähr 20 Hz findet bei jeder dieser Muskelfasern nach der Kontraktion eine vollständige Relaxation statt, bevor die nächste Kontraktion ausgelöst wird. Je höher die Frequenz eingestellt wird, desto weniger kann die einzelne Muskelfaser relaxieren, bevor der nächste Impuls ankommt. Als Reaktion darauf werden mehr Muskelanteile rekrutiert. Dies ist bei Frequenzen zwischen 20 Hz und 30 Hz der Fall. Gemäss Burkhardt (2006) können Muskelfasern bei Frequenzen über 30 Hz nicht mehr entsprechend reagieren und die Muskelspannung nimmt ab. Die Wirkung des Vibrationstrainings lässt sich, in Bezug auf die Muskelkraft, durch eine höhere Einstellung der Frequenz also nur begrenzt steigern. Die Einstellungsmöglichkeiten für höhere Fre-

quenzen sind laut der Firma Power Plate® als Massagefunktion gedacht (Power Plate® International Limited, 2001–2009).

Um die Auswirkungen des Vibrationstrainings auf das Gleichgewicht zu beurteilen, wurde der Review von Madou und Cronin (2008) herbeigezogen. Sie schlossen in ihren Review 14 Studien ein und verglichen diese miteinander. Für die Auswertung unterschieden sie zwischen älteren Personen, postmenopausalen Frauen und neurologischen Patienten. Ihr Augenmerk richteten sie vor allem auf Assessments für das Gleichgewicht und die posturale Kontrolle. Für die Autoren war es schwierig die Studien untereinander zu vergleichen, da unterschiedliche Interventionen und Assessments benutzt wurden. Zudem gaben sie als Limitationen der untersuchten Studien die kleinen Gruppengrößen sowie die häufig fehlende Verblindung an. Es zeigte sich die Tendenz, dass das Vibrationstraining bei den untersuchten Gruppen eine positive Wirkung bezüglich des Gleichgewichts hat. Die Vibrationsgruppen hatten im Vergleich mit den Kontrollgruppen bei allen Studien besser oder gleich gut abgeschnitten.

Die Autorinnen dieser Arbeit können sich vorstellen, dass die besseren Resultate nach einem Vibrationstraining mit der verbesserten intermuskulären Koordination zusammenhängen. Allgemein stellen die Autorinnen die erhaltenen Resultate der untersuchten Studien des Reviews in Frage, da erstens kein Goldstandard-Assessment, wie der Berg-Balance-Test, verwendet wurde und es zweitens für die Kontrollgruppen bestimmt optimalere Übungen zur Verbesserung des Gleichgewichts gegeben hätte. Um genauere Aussagen über die Wirkung des Vibrationstrainings bezüglich des Gleichgewichts zu machen, müssten mehr Studien analysiert werden. Dies hätte den vorgegebenen Umfang dieser Bachelorarbeit jedoch überstiegen.

6.5 Mögliche Nachteile des Vibrationstrainings

Die Hersteller der Vibrationsgeräte geben eine Reihe von Kontraindikationen für das Training auf ihren Geräten an und sichern sich so gegen mögliche Klagen ab. Darunter befindet sich der schwere Diabetes mellitus II, Herzschrittmacher, Hüft- oder Knieimplantate und aktivierte Arthrosen. Osteoporose in fortgeschrittenem Stadium mit bereits erlittenen Frakturen ist ebenfalls auf dieser Liste aufgeführt. Relative Kontraindikationen, wie eine bestehende Thrombosegefahr oder erst kürzlich vorgenommene

operative Eingriffe, werden auch aufgelistet. (Galileo[®] Training, 2009; Power Plate[®] Schweiz, 2009)

Gemäss Beutler (2007) können die Vibrationen beispielsweise bei schwerem Diabetes mellitus II, aufgrund der möglichen gestörten Tiefensensibilität, nicht genügend gedämpft werden und deshalb schädlich für die Gewebsstrukturen sein. Bei Herzschrittmachern kann es aufgrund der Vibrationen zu Funktionsstörungen des Schrittmachers kommen. Weiter kann es bei Metallimplantaten zu Lockerungen kommen, da das Material der künstlichen Gelenksstrukturen sich in Bezug zu den Schwingungen nicht gleich verhält wie das umliegende Gewebe.

Allgemein stellt sich die Frage, inwiefern das Vibrationstraining überhaupt für Frauen mit Osteoporose geeignet ist, da genau diese aufgezählten Kontraindikationen im Alter, und somit auch bei Frauen nach der Menopause*, häufig vorkommen. Dies zeigt die schweizerische Gesundheitsbefragung des Bundesamtes für Statistik (2007), welche ergab, dass 12 % der Personen in der Schweiz, welche älter als 65 Jahre sind, Diabetes und 15 % Gelenkschmerzen haben. Gemäss Biedermann (2009) werden in Europa jährlich über 240`000 Knieendoprothesen und ungefähr 400`000 Hüftprothesen eingepflanzt.

Nebst den vielen Kontraindikationen, welche für das Vibrationstraining bestehen und weshalb es nur für ein ausgewähltes Patientengut verwendet werden kann, gibt es noch weitere Punkte, welche als Nachteile gewertet werden können. Bei der Studie von Russo et al. (2003) verzeichneten die Studienteilnehmer während des Trainings auf der Vibrationsplatte beispielsweise Kniebeschwerden. Bei einer Person führte dies sogar zum Abbruch der Intervention. Einige Personen wiesen zudem Hautrötungen an den Unterschenkeln auf.

Ein weiterer Aspekt, der beachtet werden muss, sind mögliche Langzeitfolgen. Laut Beutler (2007) ist aus der Arbeitsmedizin bekannt, dass mechanische Schwingungen negative Auswirkungen auf den Körper haben können, wenn Grenzwerte in Bezug auf die Dauer, Intensität, Frequenz und Amplitude überschritten werden. Personen aus dem Landwirtschaftssektor und Bauarbeiter, die vorwiegend vibrierende Kraftfahrzeuge fahren, leiden häufig an Rücken- oder Gelenkschmerzen. Laut der European Agency for Safety and Health at Work (2008) waren in Belgien die Schmerzen bei 47 % der Fahrer auf die Vibrationen und die schlechte Sitzhaltung zurückzuführen.

7. Schlussfolgerung

Die zentrale Frage dieser Bachelorarbeit, ob Ganzkörpervibrationstraining das osteoporotisch bedingte Frakturrisiko bei Frauen nach der Menopause* positiv beeinflussen kann, beantworten die Autorinnen mit ja. Das Frakturrisiko setzt sich laut Radspieler (2009) aus den Komponenten der Knochenfestigkeit und des Sturzrisikos zusammen. Um es zu senken, müssen diese Faktoren also verbessert werden. Durch das Vibrationstraining wurde die Knochenfestigkeit nur in Bezug auf die Knochendichte positiv beeinflusst. Untersuchungen zu Veränderungen der Knochenstruktur fehlen. Beim Einfluss auf die Knochendichte zeigte sich, dass durch das Vibrationstraining eher der Knochenabbau verlangsamt, als Knochenmasse aufgebaut wird. Dies ist dennoch von klinischem Nutzen, da bei diagnostizierter Osteoporose der Knochenabbau, im Gegensatz zu gesunden Personen, erhöht ist. Für die Beeinflussung des Sturzrisikos wurden die beiden Komponenten, die Muskelkraft der unteren Extremitäten und das Gleichgewicht, betrachtet, welche durch das Training auf der Vibrationsplatte ebenfalls verbessert wurden. Die Autorinnen sind jedoch der Meinung, dass durch konventionelles Kraft- und Gleichgewichtstraining ein ebenso gutes, wenn nicht besseres Resultat erreicht werden kann.

In dieser Arbeit gilt das Interesse Frauen, die sich nach der Menopause* befinden und Osteoporose haben. Bis ins Alter von 65 Jahren wird von postmenopausaler Osteoporose gesprochen (Radspieler, 2009). Diese Frauen fallen nach Meinung der Autorinnen nicht unter sturzgefährdete Personen, da angenommen werden kann, dass die Muskelkraft der unteren Extremitäten und das Gleichgewicht noch nicht sehr beeinträchtigt sind. Durch das Vibrationstraining kann daher vor allem die Prävention des Knochenabbaus gefördert werden. Die meist noch vorhandene physische Leistungsfähigkeit sollte aber zusätzlich ausgenutzt werden, um alternative Trainingsprogramme zu absolvieren und sich sportlich zu betätigen, da sich die Autorinnen davon, bezüglich der Knochenfestigkeit, ein besseres Resultat versprechen.

Mit zunehmendem Alter nimmt die Muskelkraft ab und die physische Belastbarkeit sinkt. Frauen ab 65 Jahren, bei denen von seniler Osteoporose gesprochen wird, haben daher zusätzlich zur geringeren Knochenfestigkeit ein erhöhtes Sturzrisiko. Es muss also auf alle drei Komponenten, die zum Frakturrisiko beitragen, Einfluss ge-

nommen werden. Das Vibrationstraining scheint in diesem Zusammenhang geeignet zu sein, da die Compliance älterer Personen gegenüber konventionellen Trainingsprogrammen eher tief liegt (Russo et al., 2003). Wegen dem relativ geringen Zeitaufwand und der möglichen einfachen, statischen Ausgangsstellung auf der Vibrationsplatte stellt das Vibrationstraining eine gute Alternative für diese Personengruppe dar. Weiter wird angenommen, dass intensive alternative Trainingsprogramme und Sport ein erhöhtes Verletzungsrisiko für ältere Menschen darstellen. Häufig können für die Verbesserung der Knochenfestigkeit bei diesen Frauen, aufgrund der eingeschränkten physischen Leistungsfähigkeit, zudem keine genügend hohen Belastungsintensitäten erreicht werden. Dies ist ein weiterer Grund, weshalb die Autorinnen das Vibrationstraining für diese Personengruppe als geeignet befinden. Allerdings muss immer abgeklärt werden, wie weit die Osteoporose fortgeschritten ist. Bei einer schweren Osteoporose ist die Knochenmikrostruktur laut WHO (1994; zit. nach Lippuner, 2004) bereits schwerwiegend beeinträchtigt. Es muss angenommen werden, dass die Belastung auf den Skelettapparat beim Vibrationstraining in diesem Fall zu hoch ist und es zu Spontanfrakturen kommen kann (Power Plate® Schweiz, 2009).

Als Schlussfolgerung kann gesagt werden, dass das Vibrationstraining bei Frauen nach der Menopause* einen positiven Einfluss auf die Verminderung des Frakturrisikos nehmen kann. Das Vibrationstraining stellt eine alternative therapeutische Anwendung dar, kann die Physiotherapie jedoch nicht ersetzen, da es nicht spezifisch genug auf die individuellen Bedürfnisse der Patienten konzipiert ist. Den Nutzen dieser Trainingsform sehen die Autorinnen vor allem bei älteren Frauen, welche zur Osteoporose ein zusätzlich erhöhtes Sturzrisiko haben. Bei guter Instruktion kann das Training auf einer Vibrationsplatte eine Ergänzung zur Physiotherapie sein, da es von adäquaten Patienten selbstständig durchgeführt und somit Zeit gespart werden kann. Beim Kauf eines Vibrationsgerätes muss allerdings beachtet werden, dass das Vibrationstraining nicht für alle Frauen mit Osteoporose geeignet ist, da es aufgrund von medizinischen und orthopädischen Diagnosen kontraindiziert sein kann. Zudem ist über die Langzeitfolgen des Vibrationstrainings wenig bekannt. Allgemein raten die Autorinnen deshalb weitere Studienergebnisse abzuwarten und mit der Investition in Vibrationsgeräte für die ambulante Physiotherapie und für Rehabilitationszentren noch zuzuwarten.

8. Limitationen der Arbeit und offene Fragen

Eine der wichtigsten Limitationen dieser Arbeit sehen die Autorinnen in der geringen Anzahl eingeschlossener Studien. Eine allgemein gültige Aussage über das Vibrations-training und seine Wirkungen kann daher nicht gemacht werden. Andererseits wurden die Studien häufig mit einer geringen Probandenzahl durchgeführt, was eine Verallgemeinerung zusätzlich schwieriger machte. Die kleine Probandenzahl kam teilweise auch in den statistisch nicht signifikanten Resultaten zum Ausdruck. Eine weitere Limitation liegt in den unterschiedlich aufgebauten Studien, den verschiedenen Vibrationsparametern und den teils nicht adäquaten Interventionen der Kontrollgruppen, welche einen Vergleich zwischen den einzelnen Gruppen sowie zwischen den Studien schwierig gestaltete. Durch ähnlich strukturierte Studien könnten bessere Aussagen über den Nutzen des Vibrationstrainings gemacht werden. Ausserdem variierten das Alter und der Osteoporosegrad der Probanden, wodurch die Resultate zusätzlich beeinflusst wurden.

Wegen des vorgegebenen Umfangs dieser Arbeit wurden ausserdem zwei Reviews herbeigezogen, um die Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Kraft der unteren Extremitäten sowie das Gleichgewicht zu untersuchen. Optimaler wäre die Verwendung von Originalstudien gewesen, da so eine spezifische Auswahl an Studien mit Frauen nach der Menopause* mit Osteoporose möglich gewesen wäre und es damit einen besseren Aufschluss über den Effekt des Vibrationstrainings bei dieser Personengruppe gegeben hätte. In Reviews sind ausserdem nur Angaben der Originalstudien enthalten, die von den jeweiligen Autoren als relevant empfunden wurden. Dies kann zu einer Verzerrung der Aussagen und Einschätzungen der Resultate führen.

In Zukunft müssen weitere Untersuchungen gemacht werden, um verbleibende Fragen zu beantworten. Wichtig sind Informationen zu den optimalsten Einstellungen, wie Frequenz, Amplitude und Trainingsdauer, um die Wirkung des Vibrationstrainings auf die Knochenfestigkeit, die Muskelkraft der unteren Extremitäten und das Gleichgewicht zu verbessern. Ausserdem sollte ein Vergleich der beiden Vibrationssysteme, Hubmechanik und Wippmechanik, erfolgen, um zu entscheiden, für welche Wirkung welches Vibrationsgerät benutzt werden muss. Weiter muss die genaue physiologische Wirkung

der Vibrationen auf den Körper erforscht werden, um mögliche Nebenwirkungen und negative Langzeitfolgen auszuschliessen oder noch bessere Trainingsbedingungen zu schaffen. In dieser Arbeit wurden ausserdem nur Studien mit Frauen, die Osteoporose haben oder sich nach der Menopause* befinden, also ein grosses Risiko aufweisen an Osteoporose zu erkranken, analysiert. Interessant wären deshalb Untersuchungen, die zeigen, ob Vibrationstraining auch als präventive Massnahme gegen Osteoporose bei jungen Frauen eingesetzt werden kann. Dies würde neue Perspektiven in der Prävention und Behandlung von Osteoporose eröffnen.

9. Zusammenfassung

Diverse Hersteller von Ganzkörpervibrationsgeräten versprechen beim Training auf ihren Vibrationsplatten eine Verbesserung der Koordination und der Balance, einen Muskelzuwachs, eine Erhöhung der Knochendichte und eine Beschleunigung des Rehabilitationsprozesses. Sie werben mit einem kurzen zeitlichen Aufwand und einem maximalen Erfolg. Das Vibrationsgerät wird als eine multifunktionale und praktische Trainingsmöglichkeit dargestellt und scheint demnach vielseitig einsetzbar zu sein. (Galileo[®] Training, 2009; Power Plate[®] International Limited, 2001–2009)

Die zentrale Frage dieser Bachelorarbeit lautet deshalb: „Kann Ganzkörpervibrationstraining das osteoporotisch bedingte Frakturrisiko bei Frauen nach der Menopause* positiv beeinflussen?“

Die Wirkung des Vibrationstrainings wurde bei Frauen mit Osteoporose betrachtet, da Osteoporose in unserer Gesellschaft ein wesentliches Gesundheitsproblem darstellt. Das NIH (National Institut of Health, 2000) definiert Osteoporose als eine Skeletterkrankung, die durch eine unzureichende Knochenfestigkeit charakterisiert ist und zu einem erhöhten Frakturrisiko prädisponiert. Frauen nach der Menopause* sind besonders gefährdet an Osteoporose zu erkranken und später eine Fraktur zu erleiden. Das Frakturrisiko ist jedoch nicht nur von der Knochenfestigkeit abhängig, sondern auch von der mit zunehmendem Alter verschlechterten körperlichen Leistungsfähigkeit und dem dadurch steigenden Sturzrisiko. Mit Hilfe des Vibrationstrainings können diese Faktoren laut Herstellern verbessert werden. Um dies zu prüfen und eine Antwort auf die Fragestellung zu finden, wurde in den Datenbanken PubMed und The Cochrane Library, mit den MeSH-Schlagwörtern *vibration* und *osteoporosis*, nach Studien zu diesem Thema gesucht. Nach Abschluss der Recherchen wurden in diese Arbeit sechs englische Originalstudien über die Auswirkungen des Vibrationstrainings auf den Knochen bei Frauen nach der Menopause* eingeschlossen und analysiert. Zusätzlich wurden drei Reviews bearbeitet, die von den Effekten des Vibrationstrainings auf die Kraft der unteren Extremitäten und das Gleichgewicht handelten. In der Arbeit wurden die Studien miteinander verglichen und mögliche Erklärungsansätze für die Resultate gesucht. Die Studien unterschieden sich bezüglich Vibrationsparametern, Trainingsdauer, Trainingshäufigkeit, Messmethoden und Messorten, weshalb sich der Vergleich

der Studien als schwierig erwies. Aus diesem Grund konnte keine allgemein gültige Schlussfolgerung gemacht werden. Es zeigte sich jedoch, dass das Vibrationstraining die Knochendichte positiv beeinflussen kann. Dabei wurde eher der Knochenabbau verlangsamt, als die Knochenmasse aufgebaut. Zudem zeigten die Reviews, dass die Muskelkraft der unteren Extremitäten sowie das Gleichgewicht durch das Training auf einer Vibrationsplatte ebenfalls verbessert werden können, jedoch durch konventionelles Kraft- und Gleichgewichtstraining ein ebenso gutes, wenn nicht besseres Resultat erreicht werden kann.

Die Autorinnen sehen den Nutzen des Vibrationstrainings vor allem bei älteren Frauen, welche zusätzlich zur Osteoporose ein Sturzrisiko aufweisen, da bei diesen Personen die Compliance gegenüber konventionellen Trainingsprogrammen eher tief liegt (Russo et al., 2003). Wegen des relativ geringen zeitlichen Aufwands und der möglichen einfachen, statischen Ausgangsstellung auf der Vibrationsplatte stellt das Vibrationstraining für diese Personengruppe eine gute Alternative zu herkömmlichen Trainingsmethoden dar und zeigt Potenzial, um in der Physiotherapie eingesetzt zu werden. Allgemein ist das Vibrationstraining nach Meinung der Autorinnen aber kein Ersatz für die Therapie, sondern stellt eine mögliche Ergänzung für die Verhinderung des Knochenabbaus dar. Der Vorteil des Vibrationstrainings besteht darin, dass es bei guter Instruktion durch den Therapeuten von adäquaten Patienten selbstständig durchgeführt werden kann und somit eine Zeitersparnis resultiert.

Mit dem Kauf solcher Trainingsgeräte für die ambulante Physiotherapie oder Rehabilitationszentren raten die Autorinnen noch abzuwarten, um weitere Studienergebnisse über die Nebenwirkungen und Langzeitfolgen eines solchen Trainings zu bekommen. Ausserdem sind weitere Untersuchungen nötig, um herauszufinden, welches die optimalsten Parameter für die Verbesserung der Knochendichte, der Muskelkraft sowie des Gleichgewichtes sind.

10. Danksagung

Die Autorinnen möchten sich an dieser Stelle bei allen bedanken, die sie bei der Erstellung dieser Bachelorarbeit unterstützt haben.

Ihr besonderer Dank gilt Frau Eva Wenker-Bosshart für die Hilfe bei der Formulierung der Fragestellung und die Betreuung während des Erstellens der Arbeit.

Ihren Eltern und Bekannten danken sie für die investierte Zeit und Geduld, die nützlichen Anregungen und kritischen Anmerkungen.

Weiter möchten sie sich bei Herrn Bertram Reichhardt bedanken, der ihnen mit seinem fachlichen Wissen im Bereich der Physik zur Seite stand.

Ein Dank gilt auch Herrn André Meichtry für die geduldige Beantwortung der Fragen und das Vermitteln formaler Richtlinien für die Erstellung wissenschaftlicher Arbeiten.

11. Verzeichnisse

11.1 Literaturverzeichnis

Beutler, M. (2007). *Handbuch Vibrationstraining*. Leipzig: Draksal Fachverlag.

Biedermann, K. (2009). *Dr. med. Karl Biedermann* [On-Line]. Available: <http://www.gelenk-chirurgie-zuerich.ch> (28.03.2009).

Buchta, M. & Sönnichsen, A. (2003). *Das Physikum. GK 1-Repetitorium*. München: Urban & Fischer Verlag.

Bundesamt für Statistik (2007). *Die Schweizer Bevölkerung fühlt sich gesund* [On-Line]. Available: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/news/medienmitteilungen.Document.112193.pdf> (27.03.2009).

Bundesamt für Statistik (2009). *Bevölkerungsbewegung* [On-Line]. Available: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/06/blank/key/04/04.html> (25.01.2009).

Burkhardt, A. (2006). *Vibrationstraining in der Physiotherapie*. *physiopraxis*, 9, 22–25.

Erbrecht, R., König, H., Martin, K., Pfeil, W. & Wörstenfeld, W. (1999). *Das grosse Tafelwerk - Formelsammlung für die Sekundarstufe I und II*. Berlin: Volk und Wissen Verlag GmbH & Co.

European Agency for Safety and Health at Work (2008). *Workplace exposure to vibration in Europe: an expert review* [On-Line]. Available: http://osha.europa.eu/en/publications/reports/8108322_vibration_exposure (28.03.2009).

- Feldhaus, A. (2006). *Wirkung von Seltenen Erden auf den osteoporotisch veränderten Knochen im Tiermodell der ovariectomierten Ratte* [On-Line]. Available: [http:// e-doc.ub.uni-muenchen.de/6361/1/Feldhaus_Alexander.pdf](http://e-doc.ub.uni-muenchen.de/6361/1/Feldhaus_Alexander.pdf) (17.03.2009).
- Galileo® Training (2009). *Galileo® Trainings- und Therapiegeräte - Seitenalternierendes Vibrationstraining* [On-Line]. <http://www.galileo2000.de/vibrationstraining.php> (15.01.2009).
- Gusi, N., Raimundo, A. & Leal, A. (2006). *Low-frequency vibratory exercise reduces the risk of bone fracture more than walking: a randomized controlled trial* [On-Line]. Available: <http://www.biomedcentral.com/content/pdf/1471-2474-7-92.pdf> (21.02.2009).
- Harten, U. (2007). *Physik für Mediziner: Eine Einführung*. Heidelberg: Springer Verlag.
- Hempel, C. (2004). Physio-Akademie Bildungswerk gGmbH [On-Line]. Available: <http://www.physio-akademie.de/Post-hoc-Analyse.293.0.html> (27.05.2009).
- Iwamoto, J., Takeda, T., Sato, Y. & Uzawa, M. (2005). Effect of whole-body vibration exercise on lumbar bone mineral density, bone turnover, and chronic back pain in post-menopausal osteoporotic women treated with alendronate. *Aging Clin Exp Res*, 17, 2, 157–163.
- Lippuner, K. (2004). Osteoporose: Definition, Diagnostik und Therapie. In Bundesamt für Gesundheit (Hrsg.), *Osteoporose und Stürze im Alter. Ein Public-Health-Ansatz* (S. 7–15). Langenthal: Merkur Druck.
- Madou, K. H., & Cronin, J. B. (2008). The Effects of Whole Body Vibration on Physical and Physiological Capability in Special Populations. *Hong Kong Physiotherapy Journal*, 26, 24–38.
- National Institut of Health (2000). Osteoporosis Prevention, Diagnosis, and Therapy. *NIH Consens Development Conference Statement*, 17, 1, 1–36.

Nordlund, M. M. & Thorstensson, A. (2006). Strength training effects of whole-body vibration?. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 17, 12–17.

Physiotherapy Evidence Database (2009). *PEDro Scale* [On-Line]. Available: http://www.pedro.org.au/scale_item.html (02.03.2009).

Power Plate® International Limited (2001–2009). *Power Plate® Vibration Technology* [On-Line]. <http://www.powerplate.com> (15.01.2009).

Powerplate® Schweiz (2009). *Power Plate®* [On-Line]. Available: <http://www.powerplate.ch/kontraindikation.asp> (15.01.2009).

Pschyrembel® (2004). *Pschyrembel® Klinisches Wörterbuch*. Berlin: Walter de Gruyter.

Radspieler, H. (2006). *Jenseits der Knochendichte - virtuelle (nicht invasive) Knochenbiopsie mittels hochauflösender Mikro-CT (Xtreme-CT) zur dreidimensionalen Strukturdarstellung und quantitativen Strukturbestimmung in vivo!* [On-Line]. Available: <http://www.osteoporosezentrum.de/presse/BroschuereXtremeCT.pdf> (03.05.2009).

Radspieler, H. (2009). *Osteoporose Diagnostik- u. Therapiezentrum München* [Online]. Available: <http://www.osteoporosezentrum.de> (26.02.2009).

Rehn, B., Lidström, J., Skoglund, J. & Lindström, B. (2007). Effects on leg muscular performance from whole-body vibration exercise: a systematic review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 17, 2–11.

Ringe, J. D. (1991). *Osteoporose. Pathogenese, Diagnostik, Therapiemöglichkeiten*. Berlin: Walter de Gruyter.

Ruan, X., Jin, F., Liu, Y., Peng, Z. & Sun, Y. (2008). Effects of vibration therapy on bone mineral density in postmenopausal women with osteoporosis. *Chinese Medical Journal*, 121(13), 1155–1158.

- Rubin, C., Pope, M., Fritton, J. C., Magnusson, M., Hansson, T. & McLeod, K. (2003). Transmissibility of 15-Hertz to 35-Hertz Vibrations to the Human Hip and Lumbar Spine: Determining the Physiologic Feasibility of Delivering Low-Level Anabolic Mechanical Stimuli to Skeletal Regions at Greatest Risk of Fracture Because of Osteoporosis. *SPINE*, 28, 23, 2621–2627.
- Rubin, C., Recker, R., Cullen, D., Ryaby, J., McCabe, J. & McLeod, K. (2004). Prevention of Postmenopausal Bone Loss by a Low-Magnitude, High-Frequency Mechanical Stimuli: A Clinical Trial Assessing Compliance, Efficacy, and Safety. *JOURNAL OF BONE AND MINERAL RESEARCH*, 19, 3, 343–351.
- Russo, C. R., Lauretani, F., Bandinelli, S., Bartali, B., Cavazzini, C., Guralnik, J. M. & Ferrucci, L. (2003). High-frequency vibration training increases muscle power in postmenopausal women. *Arch Phys Med Rehabil*, 84, 1854–7.
- Santeler, P. (2002). *Die Bedeutung des Wardschen Dreiecks in der Densitometrie* [On-Line]. Available: <http://www.kup.at/kup/pdf/1072.pdf> (03.05.2009).
- Schwenkglens, M. & Szucs, T. D. (2004). Krankheitslast und Kosten der Osteoporose bis 2020. In Bundesamt für Gesundheit (Hrsg.), *Osteoporose und Stürze im Alter. Ein Public-Health-Ansatz* (S. 39–44). Langenthal: Merkur Druck.
- Van den Berg, F. (2003). *Angewandte Physiologie 1. Das Bindegewebe des Bewegungsapparates verstehen und beeinflussen*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Verschueren, S., Roelants, M., Delecluse, C., Swinnen, S., Vanderschueren, D. & Boonen, S. (2004). Effect of 6-Month Whole Body Vibration Training on Hip Density, Muscle Strength, and Postural Control in Postmenopausal Women: A Randomized Controlled Pilot Study. *JOURNAL OF BONE AND MINERAL RESEARCH*, 19, 3, 352–359.
- Zalpour, C. (2006). *Für die Physiotherapie: Anatomie Physiologie*. München: Urban & Fischer Verlag.

Zetkin, M. & Schaldach, H. (2005). *Lexikon der Medizin*. Köln: Fackelträger-Verlag.

11.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Burkhardt, A. (2006). Vibrationstraining in der Physiotherapie. *physiopraxis*, 9, 22–25.

Abbildung 2: Erbrecht, R., König, H., Martin, K., Pfeil, W. & Wörstenfeld, W. (1999). *Das grosse Tafelwerk - Formelsammlung für die Sekundarstufe I und II*. Berlin: Volk und Wissen Verlag GmbH & Co.

Abbildung 3, 4: Lippuner, K. (2004). Osteoporose: Definition, Diagnostik und Therapie. In Bundesamt für Gesundheit (Hrsg.), *Osteoporose und Stürze im Alter. Ein Public-Health-Ansatz* (S. 7–15). Langenthal: Merkur Druck.

Abbildung 5: Bartl, R. (2008). *Osteoporose Prävention - Diagnostik - Therapie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

Abbildung 6: Zalpour, C. (2006). *Für die Physiotherapie: Anatomie Physiologie*. München: Urban & Fischer Verlag.

Abbildung 7: Frings, S. (2009). Propriozeptorentypen des Menschen [On-Line]. Available: <http://www.sinnesphysiologie.de/proto02/sinntops/proprio/propriozeptoren.html> (27.03.2009).

11.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Galileo® Training (2009). *Galileo® Trainings- und Therapiegeräte - Seitenalternierendes Vibrationstraining* [On-Line].

<http://www.galileo2000.de/vibrations-training.php> (15.01.2009).

und

Power Plate® International Limited (2001–009). *Power Plate® Vibration Technology* [On-Line]. <http://www.powerplate.com> (15.01.2009).

Tabelle 2: Ringe, J. D. (1991). *Osteoporose. Pathogenese, Diagnostik, Therapiemöglichkeiten*. Berlin: Walter de Gruyter.

11.4 Auskunftspersonen

Allemann, U. (2009), Fachperson Galileo® Schweiz, Remeda GmbH, Zürich.

Meichtry, A. (2008), MSc of Physiotherapy, Lehre und Forschung, Institut für Physiotherapie, ZHAW Winterthur.

Reichhardt, B. (2009), Professor im Fach Physik, Kantonsschule Trogen.

12. Eigenständigkeitserklärung

„Wir erklären hiermit, dass wir die vorliegende Arbeit selbstständig, ohne Mithilfe Dritter und unter Benützung der angegebenen Quellen verfasst haben.“

Winterthur, 19. Juni 2009

Aline Hantz

Stephanie Langenauer

13. Anhänge

13.1 Anhang 1: Matrixtabelle

Tabelle: Vergleich der ausgewählten Studien

Autoren und Jahr	Probanden	Vibrationsparameter	Dauer und Häufigkeit des Vibrationstrainings	Gruppen und Übungen	Messmethode	Prozentuale Veränderungen der Knochen-dichte durch Vibrations-training	Prozentuale Veränderung der Knochen-dichte bei der Kontrollgruppe	Auswirkungen im Gruppenvergleich (prozentuale Veränderung)	Erfüllte Kriterienpunkte der PEDro Scale
Ruan et al. (2008)	116 (66, 50) ^A < 80 Jahre ♀ mit Osteoporose	30 Hz 5 mm --- (vertikal oszillierende Plattform)	6 Monate 5x / Woche 10 min	Vibrationsgruppe: Stand auf der Platte, Gewicht verlagert auf Fersen Kontrollgruppe: kein Training	DXA-Messmethode	LWS ↑ 4.3 % (+ 0.036 g/cm ²) Femurhals ↑ 3.2 % (+ 0.021 g/cm ²)	LWS ↓ 1.9 % (- 0.014 g/cm ²) Femurhals ↓ 1.7 % (- 0.01 g/cm ²)	Kein Gruppenvergleich!	1, 4, 7, 9, 10, 11
Gusi et al. (2006)	28 (14, 14) ^A mind. 5 Jahre nach der letzten Menstruation ♀	12.6 Hz 3 mm --- (Galileo [®] 2000)	8 Monate 3x / Woche 6x1 min mit 1 min Pause	Vibrationsgruppe: Stand mit 60° Knieflexion, barfüßig, Steigerung des Trainings von 3 auf 5 Serien Walking: 55 min Spazieren mit 2 Pausen à 5 min (Dehnen)	DXA-Messmethode	Femurhals ↑ 2.5 % (+ 0.02 g/cm ²) Trochanter ↑ 1.5 % (+ 0.01 g/cm ²) Wardsches Dreieck* ↑ 6.3 % (+ 0.04g/cm ²) LWS ↑ 1.1 % (- 0.01 g/cm ²) Resultate nicht signifikant!	Femurhalses ↑ 2.6 % (- 0.02 g/cm ²) Trochanters ↑ 1.7 % (- 0.01 g/cm ²) Wardschen Dreiecks* ↑ 0.58 % (+ 0.01 g/cm ²) LWS ↓ 1.2 % (- 0.01 g/cm ²)	BMD Femurhals ↑ 4.3 % (p = 0.011) Keine signifikanten Unterschiede an den restlichen Messorten!	1, 2, 3, 4, 7, 9, 10, 11
Iwamoto et al. (2005)	50 (25, 25) ^A 55–88 Jahre ♀ mit Osteoporose	20 Hz 0.7–4.2 mm --- (Galileo [®])	12 Monate 1x / Woche 4 min	Vibrationsgruppe: Stand mit flektierten Knien und Hüften Kontrollgruppe: kein Training Beide Gruppen wurden mit Alendronat behandelt!	DXA-Messmethode	LWS ↑ 10.2 % (+ 0.051 g/cm ²)	LWS ↑ 8.4 % (+ 0.042 g/cm ²)	Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen!	1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11
Verschuieren et al. (2004)	70 (25, 23, 22) ^A 58–74 Jahre ♀	35–40 Hz 1.7–2.5 mm 2.28–5.09 g (Powerplate [®])	6 Monate 3x / Woche 30 min	Vibrationsgruppe: diverse Übungen (squat, deep squat, wide stance squat, one-legged squat, lunge) Krafttrainingsgruppe: 20 min Warm-up (Step, Laufen, Ergometer), Krafttraining: leg extension und leg press Steigerung der Trainingsintensität bei beiden Gruppen! Kontrollgruppe: kein Training	DXA-Messmethode	gesamte Hüfte ↑ 0.93 %	Krafttrainingsgruppe gesamte Hüfte ↓ 0.51 % (- 0.004 g/cm ²) Kontrollgruppe gesamte Hüfte ↓ 0.62 % (- 0.005 g/cm ²)	Krafttrainingsgruppe gesamte Hüfte ↑ 1.51 % (p < 0.05) Kontrollgruppe gesamte Hüfte ↑ 1.53 % (p < 0.01)	1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11
Rubin et al. (2004)	56 (28, 28) ^A 47–64 Jahre ♀	30 Hz 55 µm 0.2 g --- (vertikal oszillierende Vibrationsplatte)	12 Monate 7x / Woche 2x 10 min	Vibrationsgruppe: Stand auf der Platte Kontrollgruppe: mit inaktiver Vibrationsplatte	DXA-Messmethode	Femurhals ↓ 0.69 % (- 0.005 g/cm ²) Trochanter ↓ 0.07 % (- 0.0004 g/cm ²) LWS ↓ 0.51 % (- 0.005 g/cm ²)	Kontrollgruppe ↓ 0.27 % (- 0.002 g/cm ²) Kontrollgruppe ↓ 0.19 % (- 0.001 g/cm ²) Kontrollgruppe ↓ 0.65 % (- 0.006 g/cm ²)	Kein Gruppenvergleich! Post-hoc-Analyse*: Effekt abhängig von Compliance und Alter!	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11
Russo et al. (2003)	29 (14, 15) ^A mind. 1 Jahr nach der letzten Menstruation ♀	12–28 Hz --- 0.1–10 g (Galileo [®] 2000)	6 Monate 2x / Woche 3x 1-2 min	Vibrationsgruppe: Stand auf der Vibrationsplatte mit leicht flektierten Knien, Steigerung der Trainingsintensität während des ersten Monats! Kontrollgruppe: kein Training	pQCT-Messmethode	Kortikale Tibia ↓ 0.2 % (- 0.002 g/cm ²)	Kontrollgruppe ↓ 0.7 % (- 0.008 g/cm ²)	Keine signifikanten Unterschiede zwischen Gruppen (p = 0.09)	1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11

^AAnzahl Probanden (Vibrationsgruppe, Kontrollgruppe, evtl. Krafttrainingsgruppe)
Frequenz (Hz), Amplitude (mm), maximale Beschleunigung (m/s² oder g = 9.81 m/s²)

13.2 Anhang 2: Glossar

Alkalische Phosphatase

„[...] erhöht v.a. bei Knochenerkrankung u. Knochenmetastasen mit gesteigerter Aktivität der Osteoblasten“ (Pschyrembel[®], 2004)

Apoptose

„Bez. für einen spezif., physiol. programmierten Zelltod, der für Differenzierungs- u. Involutionsprozesse eine wichtige Rolle spielt u. somit zur Aufrechterhaltung der Homöostase des zellulären Aufbaus von Geweben u. Organen beiträgt.“ (Zetkin & Schalldach, 2005)

Bisphosphonate

„[...] pharmak. Substanzgruppe [...] Wirkung: Hemmung der osteoklastären Knochenresorption u. Osteoblasten-vermittelten Osteoklastenrekrutierung; Ind.: [...] Osteoporose;“ (Pschyrembel[®], 2004)

Calcitonin

„[...] Ausschüttung proportional zur Calciumkonzentration des Blutplasmas; Wirkung: schnelle u. kurz andauernde Senkung des Calcium- und Phosphatkonzentration (antagonist. Wirkung zu Parathormon*); [...] während des Wachstums hemmt CT v.a. die Osteoklastenaktivität, im Erwachsenenalter fördert es den Ca²⁺-Einbau ins Osteoid.“ (Pschyrembel[®], 2004)

Calcitriol

„[...] 1 α -25-Dihydroxycolecalciferol; Hormon des Calcium- u. Phosphatstoffwechsels mit steroidähn. Wirkung; [...] Wirkung: zus. Mit Parathormon* u. Calcitonin* reguliert C. die Calciumresorption durch Bildung eines Ca²⁺-bindenden Proteins.“ (Pschyrembel[®], 2004)

Calcium

„[...] Vork.: im menschl. Organismus v.a. im Knochengewebe (als Hydroxylapatit*) deponiert. Der Calciumbestand [...] wird durch das Zusammenwirken von Parathormon*,

Calcitriol* u. Calcitonin* normalerweise in Grenzen konstant gehalten. [...] Verw.: in Komb. mit anderen Substanzen werden Calciumsalze bei der Osteoporose eingesetzt.“ (Pschyrembel[®], 2004)

C-Telopeptid (CTx)

Marker für den Knochenabbau (Verschueren et al., 2004)

High-turnover-Osteoporose

„vermindertes Knochenvolumen durch erhöhten Knochenumsatz; meist normale bis erhöhte Knochenanbaurrate u. gesteigerte Knochenabbaurate; häufigste Form bei sek. O.“ (Zetkin et al., 2005)

Hydroxylapatit

„[...] Calciumphosphathydroxid; [...] Hauptbestandteil von Knochen“ (Pschyrembel[®], 2004)

Hydroxyprolin

„[...] v.a. in Kollagen vorkommende Aminosäure; erhöhte Konz. im Serum od. Harn weisen u.a. auf metabol. Knochenabbau [...] od. eine erhöhte Knochenresorption bei Osteoporose hin.“ (Pschyrembel[®], 2004)

Involution

„[...] Rückbildung der Organe u. damit der psych. u. phys. Funktionen [...]. Die organ. I. betrifft alle Organe u. Gewebe in qualitativ charakterist. Weise. Quantitativ bestehen zwischen den alterstyp. Veränderungen der versch. Organe erhebl. Unterschiede. Die organ. I. soll am Ende des 5. Lebensjahrzehntes beginnen.“ (Zetkin et al., 2005)

Low-turnover-Osteoporose

„vermindertes Knochenvolumen durch herabgesetzten Knochenumsatz; meist reduzierte Knochenanbaurrate u. normale bis verminderte Knochenabbaurate: häufigste Form bei prim. O.“ (Zetkin et al., 2005)

Osteocalcin

„[...] Protein der Knochenmatrix [...], das in den Osteoblasten gebildet wird u. Calcium* bzw. Hydroxylapatit* bindet; [...] spezif. Marker für osteoblastische Aktivität bzw. die Knochenneubildung bei der Osteoporose-Diagnostik.“ (Pschyrembel[®], 2004)

Menopause

„[...] Zeitpunkt der letzten spontanen Menstruation, der retrospektiv 1 Jahr lang keine weitere ovariell gesteuerte uterine Blutung folgt; meist zw. 50. u. 52. Lj.“ (Pschyrembel[®], 2004)

Parathormon

„Synonyme: Parathyrin, Proteohormon der Nebenschilddrüsen. [...] Das P. bewirkt eine Erhöhung der Ca²⁺-Konzentration im Blut, da es 1. die Kalziumfreisetzung aus dem Knochen durch Stimulierung der Osteoklasten fördert, 2. die Ca²⁺-Resorption im Dünndarm steigert [...] Die Konstanz des Ca²⁺-Spiegels im Blutplasma (2,5 mmol/l) ist das Ergebnis der antagonist. Wirkungen von P. u. Calcitonin*. Für die volle Wirksamkeit des P. auf das Knochengewebe ist die Gegenwart von Vitamin D* erforderl.“ (Zetkin et al., 2005)

Phosphat

„[...] Der Stoffwechsel des Phosphates ist eng mit dem des Ca²⁺ verbunden, beide sind Bestandteile des Apatits; 85 % des Gesamtbestands (600–800 g) an Phosphat befinden sich im Skelett u. in den Zähnen [...]. Die Resorption von Phosphat im Darm wird durch Vitamin D* u. Parathormon* stimuliert.“ (Zetkin et al., 2005)

Post-hoc-Analyse

„[...] statistische Auswertung, die zu Studienbeginn nicht vorgesehen war. Auf diese Weise dient sie der Hypothesengenerierung. Derart gewonnene Hypothesen müssen in einer neuen Studie überprüft werden, da durch die nachträgliche Hypothesenaufstellung auch rein zufällige Ergebnisse als signifikant ausgewiesen werden können.“ (Hempel, 2004)

Postmenopause

„[...] Zeitabschnitt des Klimateriums der Frau, der nach der Menopause* beginnt u. mit dem Eintritt in das Senium (ca. im 70. Lj.) endet;“ (Pschyrembel[®], 2004)

Vitamin D

„[...] Calciferol. [...] Das 1,25-Dihydroxycholecalciferol hat folgende Wirkungen: 1. Förderung der Ca^{2+} -Resorption im Darm; 2. Mobilisierung von Kalzium aus dem Knochen, dadurch Förderung von Umbauvorgängen im Knochen; 3. Förderung der tubulären Rückresorption von Ca^{2+} in der Niere; [...] V. D-Mangel führt infolge mangelhafter Ca^{2+} -Resorption im Darm zu Rachitis sowie zu gesteigerter renaler Phosphatausscheidung, Hyperaminoazidurie u. erhöhter Aktivität der alkal. Phosphatase* im Blutplasma. Letztere stammt aus den Osteoblasten u. ist empfindl. Indikator für den Schweregrad des Mangels an V. D Mangelsymptome: beim kindl. Organismus Rachitis, beim Erwachsenen stehen Osteomalzie u. Osteoporose im Vordergrund.“ (Zetkin et al., 2005)

Wardsches Dreieck

„im unteren Bereich des Schenkelhalses vorhandenes, von Spongiosabälkchen freies Gebiet, das sich aufgrund einseitiger Belastung im Alter bildet. Begünstigt die Entstehung von Frakturen [...].“ (Zetkin et al., 2005)

Zytokine

„[...] von vielen Zellarten gebildete [...] Proteine, die das Verhalten od. die Eigenschaften anderer Zellen ändern;“ (Pschyrembel[®], 2004)