

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

Ganzkörpervibrationstraining, Nutzen versus Risiko im Leistungssport? Ein systematischer Review.

Verfasst von / submitted by

Dr. med.-vet. Karin Hof

Angestrebter akademischer Grad / in partial fulfillment of the requirements for the degree of

Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2020 / Vienna, 2020

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 445 482

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramt
UF Bewegung und Sport
UF Biologie und Umweltkunde

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschann

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer, Herrn Universitätsprofessor Mag. Dr. Harald Tschan, für die Überlassung des interessanten Themas, die unterstützende Begleitung sowie rasche Abwicklung der Formalitäten.

Für den zuverlässigen Rückhalt und ihre Geduld möchte ich mich bei meiner Familie, insbesondere bei meiner Mutter herzlich bedanken.

Bei meinen Freundinnen möchte ich mich für ihre Hilfsbereitschaft, die motivierenden Worte und das große Verständnis in allen Lebenslagen bedanken.

Kurzfassung

Ziel der vorliegenden Übersichtsarbeit ist, die Rolle des Ganzkörpervibrationstrainings in der Vorbereitung von Elite- und LeistungssportlerInnen im Vergleich zu spezifischen Interventionen zu betrachten und zu erheben, in welchen Sportarten es einen Beitrag leisten kann. Mögliche Risiken, die mit dieser Trainingsform einhergehen, sollen ebenfalls untersucht werden.

Nach Abschluss der systematischen Recherche wurden 12 Studien für diesen Review ausgewählt und hinsichtlich der Auswirkung von akutem und chronischem Ganzkörpervibrationstraining auf unterschiedliche Parameter (Kraft, Schnellkraft, Gleichgewichtsfähigkeit, Flexibilität und Sprintzeit) bei Leistungs- und SpitzensportlerInnen, analysiert.

Insgesamt wiesen sieben der zwölf Studien signifikant positive Auswirkungen von Vibrationstraining auf mindestens einen der untersuchten Parameter aus. Vier der zwölf Arbeiten zeigten gemischte Effekte, während eine Arbeit keine Auswirkungen des Vibrationstrainings auf primäre Studienendpunkte messen konnte. Obwohl die Interventionsprogramme gut und detailliert beschrieben waren, variierten die Trainingsprotokolle der einzelnen akuten und chronischen Studien zum Teil erheblich.

Die Ergebnisse zeigten, dass AthletInnen während der Ganzkörpervibration individualisierte Trainingsreize sowie spezifische Übungen benötigen, um die gemessenen Leistungsparameter entsprechend zu verbessern. Entsprechend dem höheren Trainingsstatus dürften AthletInnen Trainingsprotokolle mit höheren Geräteeinstellungen, längeren Expositionszeiten, längeren Trainingsperioden sowie anspruchsvollen Körperpositionen bzw. Übungen benötigen um ihre Leistung weiter steigern zu können. Obwohl Vibrationstraining insgesamt eine sichere Trainingsmethode darstellt sollte bei Anwendung des Vibrationstraining im Leistungssport ein besonderes Augenmerk auf den Sicherheitsaspekt gelegt werden

Um die langfristigen Effekte des Ganzkörpervibrationstrainings im Leistungssport einschätzen zu können, wären weitere Studien, die sich mit den chronischen Auswirkungen beschäftigen wünschenswert. Außerdem wäre bei weiteren Forschungsarbeiten eine detailliertere Protokollierung der Trainingsregimes von Nutzen, um Trainingsempfehlungen und Trainingsprogramme für einzelne Sportarten im Elitesport abgeben zu können.

Abstract

The purpose of the present diploma thesis was to investigate the effects of whole body vibration (WBV) in the preparation of competitive and elite athletes in comparison to specific interventions and to determine whether it could enhance performance in different sports. Potential risks of WBV should also be documented.

After the completion of the systematic literature review 12 studies were included in this review paper and analysed regarding the acute and chronic effects of WBV training on different parameters (strength, power, balance, flexibility and speed) in competitive and/or elite athletes.

In total seven of the twelve studies revealed positive effects for at least one of the examined parameters. Four of the twelve studies showed mixed effects whereas one study could not measure any effects of vibration exercise.

These results indicate that athletes need individualised trainings stimuli as well as specific exercises during WBV to enhance the measured performance parameters. According to their higher training status athletes need training protocols with higher device intensities, longer exposures, longer training periods as well as more demanding body postures and exercises to further enhance their abilities. Though, WBV represents a safe training method, special attention should be given to the safety aspects during application in competitive sports.

To estimate the long-term effects of WBV in competitive sports further studies which examine the chronic effects are desirable. In addition, further research work should focus on a more detailed description of training protocols to provide training recommendations and training programmes for individual disciplines in elite sports.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	III
Kurzfassung	V
Abstract	VI
Inhaltsverzeichnis	VII
1 Einleitung	9
1.1 Ausgangslage und Problemstellung	9
1.2 Fokussierte Fragestellungen	11
1.3 Zielsetzung	12
1.4 Theoretische Grundlagen	12
1.4.1 Ganzkörpervibrationstraining.....	12
1.4.2 Physikalische Begriffe und Prinzipien.....	13
1.4.3 Unterschiedliche Gerätetypen	16
1.4.4 Parameter zur Trainingssteuerung	21
1.4.5 Physiologische Wirkungsmechanismen.....	31
1.4.6 Effekte des Vibrationstrainings.....	33
1.4.7 Risiken und Kontraindikationen.....	36
2 Methodik	42
2.1 Studiendesign	42
2.2 Studienauswahl – Suchstrategie	43
2.3 Ein- und Ausschlusskriterien	43
2.4 Selektionsprozess relevanter Studien	46
2.5 Datenextraktion	46
2.6 Risiko der Verzerrung	47
3 Ergebnisse	48
3.1 Auswahl der Studien	48

3.2 Studienmerkmale	50
3.2.1 StudienteilnehmerInnen (participants)	55
3.2.2 Interventionsgruppen (interventions)	55
3.2.3 Kontrollgruppen (control-group)	52
3.2.4 Studienendpunkte (outcomes)	52
3.2.5 Studiendesign (study design)	63
3.3 Risiko der Verzerrung	63
3.4 Ergebnisse der einzelnen Studien	60
4 Diskussion	82
4.1 Zusammenfassung der Evidenz	82
4.2 Einschränkungen	83
4.3 Vergleich und Interpretation der Ergebnisse	84
5 Conclusio und Ausblick	91
Literaturverzeichnis	95
Abbildungsverzeichnis	101
Tabellenverzeichnis	102
Eidesstattliche Erklärung	104

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Problemstellung

Ganzkörpervibrationstraining, auch bekannt unter den Begriffen „Whole Body Vibration Training“, „Rhythmisch Neuromuskuläre Stimulationen“ oder „Biomechanische Stimulation“, erfreut sich zunehmender Beliebtheit und seine Anwendung im täglichen Leben, vor allem in der Prävention, Therapie sowie im Breitensport, gewinnt weiter an Bedeutung (Kaeding, 2016).

Die Anwendung periodisch mechanischer Schwingungen im medizinischen Bereich, sogenannter Vibrationen, ist bereits seit der griechischen und römischen Kultur historisch belegt. Die Physiotherapie nützt seit Beginn des 19. Jahrhunderts positive Effekte mechanischer Schwingungen auf den menschlichen Körper in Form von Vibrationsmassagen (Issurin, 2005).

Bereits Mitte des 19. Jahrhunderts waren die Auswirkungen mechanischer Schwingungen auf den menschlichen Körper von größtem Interesse und Gegenstand ursprünglicher Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Arbeitsphysiologie und Ergotherapie. Allerdings wurden Vibrationen in diesen Arbeiten hinsichtlich ihrer negativen Effekte auf Personen untersucht und als potenzielle Krankheitsauslöser bzw. Umweltstressoren genauer betrachtet (Hortobágyi, Lesinski, del Olmo, Granacher, 2015; Jordan, Norris, Smith & Herzog, 2005).

Im Arbeitsumfeld wurden negative Wirkungen von Vibrationen auf den menschlichen Körper beobachtet und dokumentiert (Jordan et al., 2005). Es wurde nachgewiesen, dass chronische Exposition bzw. große Vibrationsdosen verschiedene biologische Strukturen, wie periphere Nerven, Blutgefäße, Gelenke und Perzeptionsfunktionen schädigen können. (Jordan et al., 2005).

Erst in den späten 70er Jahren, und damit seit vergleichsweise kurzer Zeit, entfachte das Interesse der SportwissenschaftlerInnen am Einsatz mechanischer Schwingungen zur Steigerung von Muskelfunktion und Leistung bei AthletInnen (Hortobágyi et al., 2015).

Nazarov & Spivak (1985) setzten das Vibrationstraining bei Athleten der sowjetischen Olympiamannschaft ein und erkannten erstmals den Zusammenhang zwischen Steigerung der muskulären Leistungsfähigkeit und Anwendung von biomechanischen Schwingungen (Kaeding, 2016; Nazarov & Spivak, 1985; Rittweger 2010).

Mittlerweile gibt es zahlreiche wissenschaftliche Studien und Vibrationstraining hat sich zu einem eigenen Zweig der angewandten Sport- und Trainingswissenschaften entwickelt (Issurin, 2005).

Vibrationstraining nutzt Effekte mechanischer (meist sinusförmiger) Schwingungen, die direkt oder indirekt auf die Muskulatur einwirken (Kaeding, 2016). Die Wirkung des Trainings kann über die Frequenz (zwischen 4 und 50 Hertz), die Amplitude (Bewegungsausmaß der Platte), die Applikationsdauer (zwischen 30 und 120 Sekunden pro Durchgang) sowie die ausgeführten Bewegungen bzw. Körperhaltung gesteuert werden (Jordan et al., 2005; Kaeding, 2016; Luo, McNamara & Moran, 2005).

Die exakten Wirkmechanismen der eingeleiteten mechanischen Schwingungen auf den Körper sind nach wie vor unklar. In der Literatur werden drei mögliche Auswirkungen, nämlich „Neuromuskuläre Adaptationen“, der „Tonische Vibrationsreflex“ und „erhöhte Gravitationskräfte“ diskutiert. Seit Kurzem wird der „Bone Myoregulation Reflex“ ebenfalls als potenzieller Effekt in Erwägung gezogen (Kaeding, 2016).

Die Studienergebnisse zu den Wirkungen des Vibrationstrainings divergieren stark zwischen AutorInnen und sind zum Teil widersprüchlich. Während manche ForscherInnen Vibrationstraining als attraktive und effiziente Möglichkeit betrachten, um Muskelaktivität, Muskelkraft und Muskelleistung zu steigern, konnten andere Arbeitsgruppen nur geringe bis keine positiven Effekte nachweisen (Cochrane, 2011).

Die umfassende Literaturarbeit von Cochrane 2011 untersucht Studien, die sich im Design auffallend unterscheiden. Das Review schließt auch Studien ohne Kontrollgruppen mit unterschiedlichen ProbandInnen (Gesunde, Kranke, AthletInnen, Untrainierte) und sämtliche Anwendungsmodalitäten und Parameter des Vibrationstrainings mit ein.

Dolny und Reyes (2008) betrachten den Nutzen des Vibrationstrainings bei jungen, gesunden ProbandInnen als limitiert. Deutliche Erfolge ließen sich jedoch bei älteren, erkrankten oder untrainierten Individuen nachweisen.

Auch die Arbeitsgruppe um Hortobágyi (2015), die eine ausführliche und umfangreiche Literaturarbeit und Metaanalyse zu den Effekten von Ganzkörpervibrationstraining auf die athletische Leistungsfähigkeit unterschiedlicher AthletInnen durchgeführt hat, kommt zu dem Ergebnis, dass diese Trainingsform nur geringe sowie unbeständige akute und chronische Wirkungen auf LeistungssportlerInnen hat.

Hortobágyi et al. (2015) vermuten, dass die durch periodisch mechanische Schwingungen ausgelösten neuromuskulären Anpassungsprozesse nicht spezifisch genug sind, um die Leistungsfähigkeit der HochleistungssportlerInnen weiter zu steigern.

Während der Einsatz im Breitensport als sinnvolle Ergänzung bzw. gesundheitsförderliche Intervention betrachtet wird (Kaeding, 2016), häufen sich in der letzten Dekade Studienergebnisse, dass im Bereich des Leistungssports durch Vibrationstraining vergleichsweise geringe bzw. geringere Effekte erzielt werden können (Hortobágyi et al., 2015; Wilcock, Whatman, Harris, Keogh, 2009).

Mit der vorliegenden Arbeit soll einerseits der aktuelle Forschungsstand bezüglich Leistungssteigerung durch Ganzkörpervibrationstraining bei AthletInnen erhoben werden sowie welche Belastungsparameter und Trainingsregimes sich bei dieser Subpopulation als zielführend erwiesen haben.

1.2 Fokussierte Fragestellungen

- Wie kann Ganzkörpervibrationstraining gezielt eingesetzt werden, um die Leistungsfähigkeit von Leistungs- oder WettkampfsportlerInnen zu steigern?
- Welchen Stellenwert hat Ganzkörpervibrationstraining in der Leistungssteigerung (insbesondere muskuläre Effekte) und welchen Beitrag kann es in unterschiedlichen Sportarten leisten?
- Bei welchen Sportarten führt zusätzliches Vibrationstraining zu einem nachweisbaren Nutzen für LeistungssportlerInnen?

1.3 Zielsetzung

Im Rahmen dieser Übersichtsarbeit soll beleuchtet werden, welche Rolle Vibrationstraining auf Platten in der Vorbereitung von Elite- und LeistungssportlerInnen im Vergleich zu spezifischen Interventionen einnimmt und in welchen Sportarten es einen Beitrag leisten kann. Mögliche Risiken, die mit dieser Trainingsform einhergehen, sollen ebenfalls untersucht werden. Dafür werden ausschließlich Studien der letzten fünf Jahre, LeistungssportlerInnen jeglicher Sportart und alle Arten von Vibrationsplatten herangezogen.

1.4 Theoretische Grundlagen

1.4.1 Ganzkörpervibrationstraining

Ganzkörpervibrationstraining, auch bekannt unter den Begriffen „Whole Body Vibration Training“, „Rhythmisch Neuromuskuläre Stimulationen“ oder „Biomechanische Stimulation“ oder „Hypergravity Training“, nutzt den Effekt mechanischer (meist sinusförmiger) Schwingungen, die direkt oder indirekt auf die Muskulatur übertragen werden. Die Trainingsbelastung kann über die Frequenz (4 bis 60 Hertz), die Amplitude (unter 1 bis über 12 mm), die Applikationsdauer, die Beschleunigung (m/s^2) und die Körperhaltung der trainierenden Personen bzw. durch die auf dem Gerät ausgeführten Übungen erfolgen. Durch die Vibrationsplatten üblicherweise erzeugten Frequenzen ergeben zusammen mit der vertikalen Plattenverlagerung Beschleunigungen zwischen $\sim 2.2 - 5.1 \text{ g}$. (Cochrane, 2011; Dolny & Reyes, 2008).

In den meisten Studien stehen die TeilnehmerInnen auf der Vibrationsplattform und die Schwingungen werden über eine vertikale oder wippende Bewegung indirekt, als Ganzkörpervibration, auf die Muskulatur übertragen (Dolny & Reyes, 2008; Rittweger, 2010).

Kürzlich untersuchten Jacobson., Monaghan, Sellers, Conchola, Pope und Glass (2017) die akuten Auswirkungen eines Vibrationsgerätes (Swiss TTP BMR 2100; Swiss Therapeutic Training Products, Twinsburg, OH, USA), welches die Muskulatur ausgewählter Körperregionen biomechanisch stimuliert, an Fußballspielern der ersten Division.

Das kommerziell erhältliche Gerät erzeugt Vibrationen zwischen 5 und 35 Hz, die über eine zylindrische Trommel auf die zu trainierenden Körperteile übertragen werden (Jacobson et al., 2017) (siehe Abbildung 4).

Um Oberkörper und obere Extremitäten zu trainieren, haben Hersteller die Vibrationsplattformen zur Schwingungstransmission auch über Gurte mit diversen Krafttrainingsgeräten verbunden (Cochrane, 2011). Es wird davon ausgegangen, dass die Effektivität bei dieser Methode gering ist, da nur ein Teil der Vibrationen über Seilzüge bzw. Gurte auf die Körpersegmente übertragen werden können.

Schließlich werden in der Literatur spezielle Vibrationstrainingsgeräte, die für das Oberkörpertraining entwickelt wurden, angeführt. Es handelt sich um oszillierende Hanteln bzw. Kugelhanteln (Kettlebells) die über Teilkörpervibrationen Trainingseffekte erzielen sollen (Kaeding, 2016). Die kommerziell gefertigten Hanteln verfügen über ein zentrales, rotierendes Handstück, welches die Schwingungen in variablen Frequenzen (0 – 30 Hz) erzeugt (Cochrane, 2011).

In der Physiotherapie werden Vibrationen gezielt eingesetzt, um einzelne Muskeln oder Sehnen zu stimulieren. Diese Anwendungsform ist für das athletische Training nicht geeignet (Issurin, 2005).

Diese Arbeit konzentriert sich ausschließlich auf Studien, die mit Vibrationsplatten aller Art gearbeitet haben. Eine Beschreibung der handelsüblichen Ganzkörpervibrationsgeräte erfolgt in Kapitel 1.4.3. Im folgenden Kapitel werden für diese Arbeit relevante physikalische Grundbegriffe in Bezug auf das Vibrationstraining kurz zusammengefasst.

1.4.2 Physikalische Begriffe und Prinzipien

Erzwungene Schwingung

Im physikalischen Sinne entspricht Vibrationstraining einer erzwungenen Schwingung. Bei der erzwungenen Schwingung wird Energie von einem Erreger (der Vibrationsplatte oder „Actuator“) von außen auf ein schwingungsfähiges System (den menschlichen Körper / Körperteile oder „Resonator“) übertragen. Das System schwingt mit der vom Erreger aufgezwungenen Frequenz (Breuer, 1989).

Gedämpfte und ungedämpfte Schwingung

Führt ein Körper periodische Bewegungen um eine Ruhelage aus, so spricht man von einer Schwingung. Die Bewegung findet zwischen zwei Umkehrpunkten und der Ruhelage des schwingenden Teilchens (Oszillator) statt.

Je nachdem, ob das Ausmaß der Schwingung mit fortschreitender Zeit abnimmt oder nicht, bezeichnet man diese als gedämpfte oder ungedämpfte Schwingung. Da durch Reibung Energie an die Umgebung abgegeben wird, sind in der Realität auftretende Schwingungen stets gedämpft. Wird die gedämpfte Schwingung ohne Energiezufuhr sich selbst überlassen, so führt dieser Energieverlust letztendlich zum Stillstand der Schwingung (Kaeding, 2016).

Harmonische oder Sinusschwingung

Die meisten Vibrationstrainingsgeräte arbeiten heute mit harmonischen bzw. sinusförmigen Schwingungen, die auf den menschlichen Organismus im Sinne einer periodischen Anregung wirken. Bei der harmonischen Schwingung bleibt die Amplitude konstant, also ungedämpft (Kaeding, 2016). Sinusförmige Schwingungen werden anhand ihrer Amplitude (A), Frequenz (f) und Phasenwinkel (φ) beschrieben (Rittweger, 2010).

Für den speziellen Bereich des Vibrationstrainings liefert Kaeding (2016) eine übersichtliche Zusammenfassung wichtiger physikalischer Begrifflichkeiten. Die Zeit einer vollständigen Schwingung wird als *Schwingungsdauer* (T) bezeichnet. Der Quotient aus der Anzahl der Schwingungen und der dafür benötigten Zeit wird als *Frequenz* bezeichnet. Angaben zur Frequenz werden im Bereich des Vibrationstrainings häufig gemacht, die abgeleitete SI-Einheit dafür ist das Hertz [Hz].

Weiter ist die Abgrenzung zwischen den Begriffen *Amplitude* und *Hub* gesondert zu erwähnen, da die Amplitude häufig fälschlicherweise zur Beschreibung des Hubes verwendet wird. Während die Amplitude die maximale Auslenkung der Vibrationsplatte von der Gleichgewichtslage beschreibt, stellt der Hub die maximale Gesamtauslenkung (negative plus positive Amplitude / englisch peak to peak displacement) des Oszillators dar (Kaeding, 2016). Zur Veranschaulichung der beschriebenen Begriffe wird Abbildung 1 einer harmonischen Schwingung aus der Arbeit von Rauch, Sievanen, Boonen, Cardinale, Degens, Felsenberg, Roth, Schoenau, Verschueren und Rittweger (2010) angefügt.

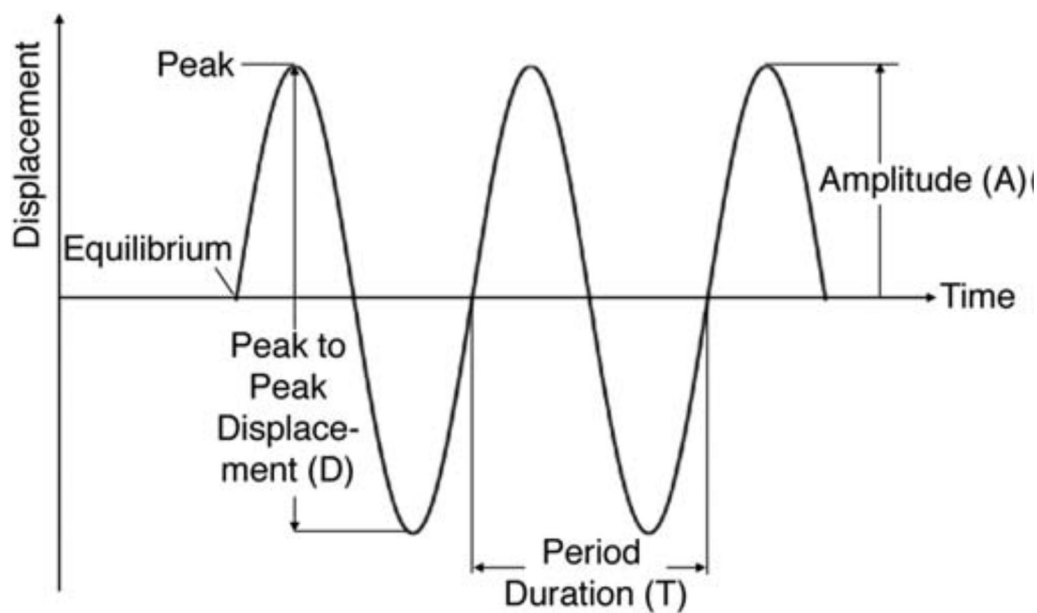


Abbildung 1: Harmonische Schwingung einer Vibrationsplatte (Rauch et al., 2010)

Resonanz

Regt eine äußere Kraft ein schwingendes System periodisch korrekt an, so bezeichnet man den resultierenden Amplitudenanstieg als Resonanz. Sie tritt bei erzwungenen und ungedämpften Schwingungen auf, wenn die Resonanzbedingung erfüllt ist und die Erregerfrequenz gleich der Eigenfrequenz des Resonators ist. Jedes System hat seine spezifische Eigenfrequenz, mit der es frei schwingt (Kaeding, 2016; Breuer, 1989).

Resonanzkatastrophe

Da Organe und Gewebe des menschlichen Körpers über eine gewisse Eigenschwingung verfügen, kann das Phänomen der Resonanzkatastrophe auch im Bereich des Vibrationstrainings Bedeutung erlangen (Kaeding, 2016). Führt ein Erreger dem Resonator mehr Energie zu, als im Resonator durch Reibung bzw. Dämpfung verloren geht, so können enorm große Schwingungen mit potenziell schädlicher Wirkung entstehen (Breuer, 1989). Daher sollte während des Vibrationstrainings Resonanz durch Änderungen der Muskelsteifheit oder durch den Einbau von Dämpfungselementen unterbunden werden (Rittweger, 2010; Mester, Kleinöder & Yue, 2006).

1.4.3 Unterschiedliche Gerätetypen

Die Gesundheits- und Fitnessindustrie erzeugt zwei Vibrationsplattformtypen, die sich hauptsächlich in ihrer Schwingungsform unterscheiden. Die Geräte arbeiten mit hochfrequenten, sinusförmigen Vibrationsreizen und lassen sich nach der Plattformbauweise zusätzlich in Hub-, Oszillations-, Wipp- und Basstechnik einteilen (Kaeding, 2016).

Vertikal schwingende Geräte (wie Power Plate®, Nemes®, Vibra Pro®, Vibrafit®, Fit Vibe®, Pneu-Vibe®, Vibrogym®, Soloflex®, Body-Pulse®, Juvent 1000®) erzeugen synchrone Vibrationen während die Plattform sich hauptsächlich in vertikaler Richtung auf und ab bewegt. Sie arbeiten mit Hub-, Oszillations- und Basstechnik und übertragen die Energie synchron auf die unteren Extremitäten (Kaeding, 2016; Cochrane, 2011; Rittweger, 2010). Die Energiebereitstellung erfolgt bei den meisten kommerziell erhältlichen vertikal schwingenden Geräten über Masse – Feder - Systeme. Durch gleichzeitige Schwingungsübertragung auf beide Beine ergibt sich eine symmetrische Stimulation beider Körperhälften während des Vibrationstrainings (Cochrane, 2011) (siehe Abbildung 2).

Der zweite Gerätetyp verfügt über eine Wipptechnik und arbeitet mit einer Plattform, die seitenalternierende, sinusförmige Schwingungen erzeugt (z. B. Galileo®). Im Gegensatz zu den ausschließlich vertikal schwingenden Geräten rotieren seitenalternierende Geräte um eine horizontale Drehachse, so dass rechter und linker Fuß abwechselnd auf und ab bewegt werden (Kaeding, 2016). Der rechte Fuß befindet sich somit am tiefsten Punkt der Plattform, wenn der linke Fuß am höchsten Punkt angelangt ist (Rittweger, 2010) (siehe Abbildung 2).

Seitenalternierend schwingende Geräte können eine zusätzliche Rotation um das Hüft- bzw. Lumbosakralgelenk auslösen. Durch diesen zusätzlichen Freiheitsgrad ist die mechanische Impedanz (Schwingungswiderstand) bei diesen Vibrationsplatten kleiner als bei vertikal schwingenden Systemen (Abercromby, Amonette, Layne, McFarlin, Hinman, Paloski, 2007b).

Der Vollständigkeit halber wird noch ein dritter, wenig erprobter Gerätetyp erwähnt, welcher Vibrationen in drei Dimensionen applizieren kann.

Aufgrund der Rezeptorensättigung bei sinusförmigen Schwingungen kommt es bei diesem System allerdings rasch zu einer Anpassung des Körpers bei gleichzeitiger Reduktion der Trainingseffektivität (Kaeding, 2016).

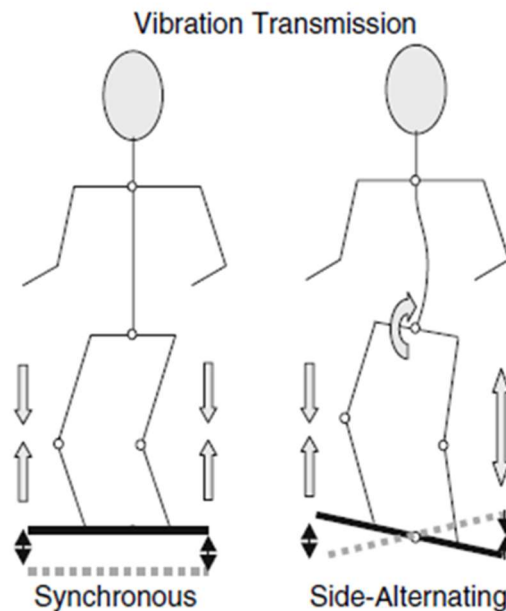


Abbildung 2: Darstellung der beiden Vibrationsübertragungsprinzipien (Rittweger, 2010)

Wie in Abbildung 2 dargestellt, verhalten sich die unteren Extremitäten bei den seitenalternierend operierenden Systemen antiphasisch. Die somit auf die Lendenwirbelsäule übertragene Rotationskomponente reduziert nachweislich die Schwingungsübertragung auf Oberkörper und Kopf, sodass bei seitenalternierenden Systemen im Vergleich zu vertikale schwingenden Vibrationsplatten größere Beschleunigungen toleriert werden (Abercromby et al. 2007b).

Die Produktpalette kommerziell erhältlicher Ganzköpervibrationstrainingsgeräte wird laufend erneuert und erweitert. Die Geräte werden laut Angebotsseiten der Hersteller bereits für unterschiedlichste Zielgruppen produziert. So gibt es mittlerweile Vibrationssysteme für Kinder, für medizinische Anwendungsbereiche sowie für den Sport- und Fitnessbereich. Vor- und Nachteile von vertikal und seitenalternierend schwingenden Systemen sind nachfolgend in Tabelle 1 und Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile vertikal schwingender Geräte (Kaeding, 2016)

Vertikal schwingende Geräte	
Vorteile	Nachteil
Vielseitigerer Einsatz, mehr Übungsvarianten	Größere Gefahr von Nebenwirkungen, da aufgrund der Bauweise potenziell gefährliche Positionen eingenommen werden können (Sitzen, Liegen), bei denen die eingeleiteten Schwingungen nicht so effektiv gedämpft werden.
Höhere, chronische Effektivität bezüglich muskulärer Leistung	
Bestimmte Übungen für dekonditionierte (ältere, kranke) leichter ausführbar, z. B.: Steps	
Massagen aufgrund der Bauweise möglich (z. B. der Beine)	

Tabelle 2: Vor- und Nachteile seitenalternierend schwingender Geräte (Kaeding, 2016)

Seitenalternierend schwingende Geräte	
Vorteile	Nachteile
Geringeres Nebenwirkungsrisiko, da durch Bauweise bestimmte Positionen seltener eingenommen werden	Massagen der unteren Extremitäten sind nicht möglich
Aufgrund der Bauweise wird der Rumpf nicht beschleunigt und somit signifikant weniger Schwingungen auf den Kopf übertragen	Eventuell erhöhte Verletzungsgefahr für Personen mit reduzierter posturaler Kontrolle im Vergleich zu vertikal schwingenden Systemen
Posturale Kontrolle älterer Personen kann signifikant positiv beeinflusst werden	

Es folgt eine exemplarische Darstellung der aktuell im Handel erhältlichen und in Studien verwendeten Modelle von Vibrationstrainingsgeräten. Darüber hinaus wurden verfügbare Herstellerdaten den Abbildungen in Tabellenform beigelegt.

Tabelle 3: Galileo® Fit Extreme



Bezeichnung	Galileo® Fit Extreme
Methode	Seitenalternierende Vibration
Anwendung	Fitness
Frequenz (von/bis)	5 – 36 Hz
Amplitude (von/bis)	+/- 5,2 mm
Hub	0 – 10,4 mm
Beschleunigung	27,1 g
Gesamtgewicht	70 kg
Belastbarkeit	200 kg
Hersteller	Novotec Medical GmbH

Abbildung 3: Galileo® Fit Extreme vgl. www.galileo-training.com

Tabelle 4: Power Plate Pro5Plus®



Bezeichnung	Power Plate Pro5Plus®
Methode	Vertikale Vibration
Anwendung	Fitness
Frequenz (von/bis)	50 / 60 Hz
Gesamtgewicht	150 kg
Belastbarkeit	182 kg

Abbildung 4: Power Plate Pro5Plus® vgl. www.powerplate.de

Tabelle 5: Nemes®

Bezeichnung	Nemes®
Methode	Vertikale Vibration
Anwendung	Fitness
Frequenz (von/bis)	10 – 60 Hz
Hersteller	ft-System



Abbildung 5: Nemes® vgl. www.kiromkinetic.it/pedana_vibrante.html



Abbildung 6: Swiss TTP BMR 2100 vgl. www.swissttp.com/

1.4.4 Parameter zur Trainingssteuerung

Die in wissenschaftlichen Studien bei SportlerInnen angewandten Trainingsprotokolle unterscheiden sich zum Teil signifikant. Da unterschiedlichste Gerätetypen, Schwingungsformen, Frequenzen, Amplituden, Körperhaltungen, Übungen, u.v.m. eingesetzt werden, und die Ergebnisse entsprechend heterogen sind, ist es nicht möglich allgemeingültige Aussagen zur optimalen Frequenz, Amplitude, Beschleunigung, Trainingsdauer oder Körperhaltung bzw. Übung zu treffen (Kaeding, 2016; Wilcock et al. 2009). Somit müssen die Parameter jeweils individuell an die gewünschte Zielstellung und gegebenen Voraussetzungen angepasst werden (Cochrane, 2011).

Die Trainingsintensität bzw. Trainingsbelastung wird beim Vibrationstraining durch die Schwingungsbeschleunigung bestimmt. Diese hängt ihrerseits von der Frequenz und Amplitude der Schwingung ab (Issurin, 2005).

Im Folgenden wird auf die aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse und Grundlagen zu den wichtigsten Parametern der Trainingssteuerung des Vibrationstrainings eingegangen. Einige Begriffsdefinitionen wurden bereits im Kapitel 1.4.2 Physikalische Begriffe und Prinzipien erläutert und werden nun weiter ergänzt.

Frequenz (f)

Höhere Vibrationsfrequenzen während des Trainings bewirken größere Beschleunigungskräfte im menschlichen Körper. Somit bestimmt die Frequenz als Hauptfaktor die biologischen Effekte und Adaptationsprozesse an das Vibrationstraining (Wilcock et al., 2009; Jordan et al., 2005).

Diverse Arbeiten zu akuten und chronischen Auswirkungen des Vibrationstrainings weisen in Bezug auf die Steigerung der muskulären Leistungsfähigkeit auf größere Effekte von Frequenzen zwischen 35 und 50 Hertz hin (Marin & Rhea 2010a; Marin & Rhea, 2010 b, Wilcock et al. 2009).

Cochrane (2011) zeigt in ihrem Review den Mangel an wissenschaftlicher Dokumentation bezüglich der Wahl geeigneter Vibrationsfrequenzen auf. Wie bei jeder Trainingsform ist die Reaktion auf den gesetzten Trainingsreiz individuell sehr unterschiedlich. Die Trainingsprogramme sollten dementsprechend an die AthletInnen angepasst sein.

Trotzdem besteht im Bereich des Ganzkörpervibrationstrainings die Tendenz, eine Vibrationsfrequenz für alle AthletInnen zu verwenden.

Di Giminiani, Tihanyi, Safar und Scrimaglio (2009) haben in ihrer Studie zur Auswirkung des Vibrationstrainings auf die Explosiv- und Reaktivkraft die Trainingsfrequenzen mittels EMG (Elektromyographie) individuell an die ProbandInnen angepasst. Die Ergebnisse zeigten, dass individualisierte Frequenzen im Vergleich zu einer Standardeinstellung von 30 Hz den Nutzen des Vibrationstrainings maximieren können (Di Giminiani et al., 2009; Wilcock et al., 2009). Allerdings ist in der Praxis die Durchführung solcher EMG Messungen zur Anpassung der Frequenzen nur selten möglich. Meist steht die entsprechende Ausrüstung nicht zur Verfügung, ist zu teuer oder die nötige Expertise fehlt (Cochrane, 2011).

Amplitude (A)

Bei seitenalternierenden Vibrationssystemen kann die Wahl der Amplitude über die Fußposition gesteuert werden. Werden die unteren Extremitäten nahe der Plattenmitte positioniert ist die Amplitude (etwa 3 mm) gering. Über eine weite Fußstellung kann eine größere Amplitude (etwa 12 mm) gewählt werden (Cochrane, 2011) (siehe Abbildung 7).

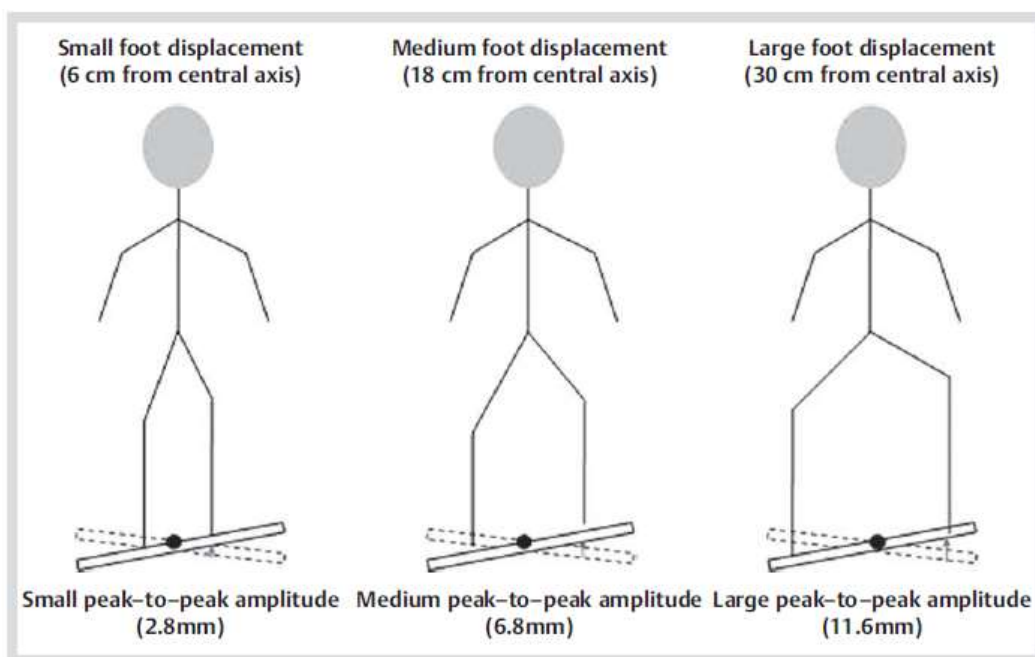


Abbildung 7: Unterschiedliche Fußposition auf einer seitenalternierenden Platte (Galileo®) mit entsprechender peak-to-peak Amplitude (Cochrane, 2011)

Bei vertikal schwingenden Ganzkörpervibrationssystemen ist die Amplitude unabhängig von der Fußstellung und meist auf 0 - 2 mm oder 4 - 6 mm voreingestellt.

Interessanterweise gibt es keine Untersuchungen, die Amplituden von vertikalen und seitenalternierenden Vibrationssystemen direkt vergleichen (Luo et al., 2005). Weiters finden sich bei den meisten Studien keine Angaben zur Berechnung oder Messung der angewandten Amplitude und auch die verwendete Terminologie ist inkonsistent (Cochrane, 2011). Der Mangel an Studien lässt auch im Hinblick auf die Amplitudenwahl keine allgemeingültigen Aussagen zu (Kaeding, 2016).

Marin und Rhea (2010a, 2010b) stellten fest, dass Amplituden zwischen 6 und 10 mm die positivsten Effekte auf die muskuläre Leistungsfähigkeit in Hinblick auf Schnellkraft und Maximalkraft haben. Größere Amplituden könnten auf die Aktivierung der Muskulatur der unteren Extremitäten bzw. die langfristige Leistungsfähigkeit noch größere Effekte haben.

Beschleunigung (a)

Durch das Training auf den Vibrationsplattformen erleben Körper bzw. Körpersegmente eine Beschleunigung (a). Die Beschleunigung, die der Körper erfährt, kann durch die Formel

$$a = A \cdot (2\pi f)^2$$

angegeben werden. Die Beschleunigung a wird in einigen Veröffentlichungen in Bezug auf die Erdbeschleunigung (g) angegeben. Wobei $1\text{ g} = 9.81\text{ m/s}^2$. A entspricht der Amplitude und f der Vibrationsfrequenz in Hertz.

In den meisten Ganzkörpervibrationsstudien werden die ProbandInnen Beschleunigungen von $\sim 0 - 18\text{ g}$ ausgesetzt. Die Beschleunigung kann in m/s^2 oder g angegeben werden (Cochrane, 2011; Dolny & Reyes, 2008).

Wilcock et al. (2009) stellten fest, dass in zahlreichen Vibrationsstudien zwar die Beschleunigung angegeben wird, allerdings nicht die Methode, mit der diese erhoben wurde (z. B. Accelerometer).

Die Beschleunigung verhält sich proportional zu der angewandten Kraft. Eine Erhöhung der Beschleunigung während des Vibrationstrainings (durch Steigerung von Frequenz und Amplitude) hat demnach ähnliche Effekte, wie eine Erhöhung der Gewichte während einer Krafttrainingseinheit ($F = m \cdot a$) (Cardinale & Wakeling, 2005).

Körperhaltung und Übungen

Die Einnahme einer geeigneten Körperhaltung spielt eine entscheidende Rolle in der Vermeidung von Resonanzbildungen. Entscheidend hierfür sind Grundkenntnisse über die Mechanismen der Vibrationsübertragung im menschlichen Körper (Cochrane, 2011).

Vibrationen werden von Körpersegment zu Körpersegment weitergeleitet. Bei konventionellen Ganzkörpervibrationsplatten eignet sich eine stehende Grundhaltung besonders. Hierbei wird die Schwingung vom Fuß über den Unterschenkel und weiter zum Oberschenkel geleitet. Die Schwingungsdämpfung hängt hier nicht nur von Fuß-, Knie- und Hüftgelenk, sondern auch von der Muskelmodulation ab (Abercromby et al. 2007a). Bei der stehenden Position wird die Übertragung von Schwingungen auf den Kopf minimiert. Weniger geeignet und kritisch betrachtet werden liegende bzw. sitzende Positionen (Rittweger, 2010).

Die für die **stehende Grundhaltung** wichtigen Faktoren und Unterschiede bezüglich AnfängerInnen und Fortgeschrittenen werden in Abbildung 8 veranschaulicht. Folgende Punkte sind nach Kaeding (2016) für die stehende Grundhaltung zu beachten:

- Punkt 1: parallele Fußhaltung mit einer geringen Außenrotation von etwa 7°
- Punkt 2: leichte Beugung der Beine
- Punkt 3: geringgradige Hohlkreuzposition im unteren Rücken
- Punkt 4: Bauchmuskulatur angespannt
- Punkt 5: die Hände umfassen bei AnfängerInnen die Haltegriffe
- Punkt 6: Kopfpositionierung in Verlängerung der Wirbelsäule

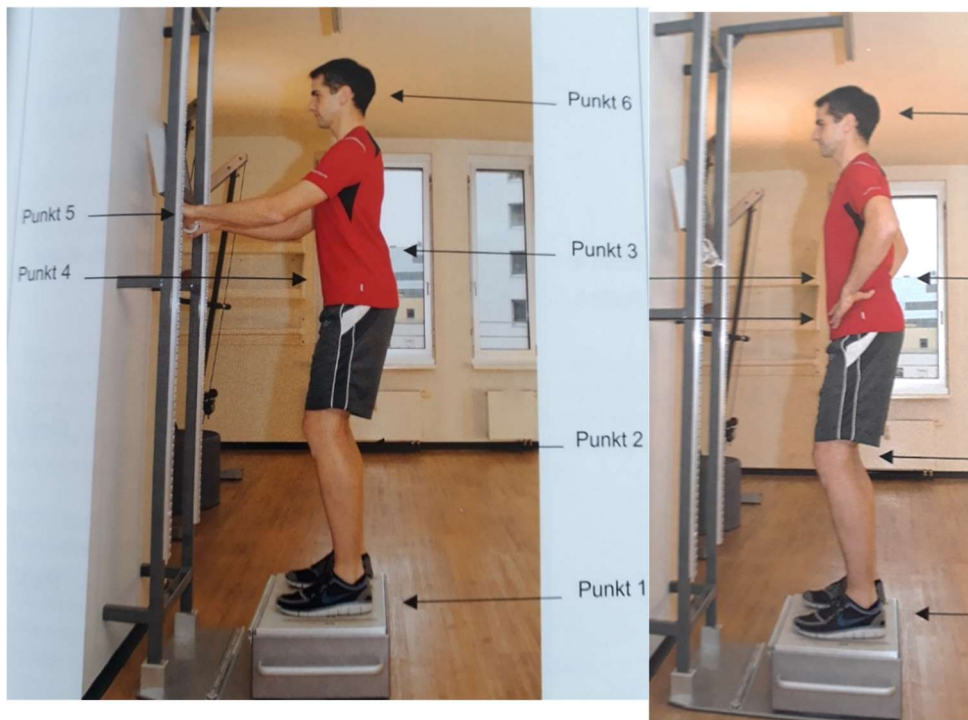


Abbildung 8: Stehende Grundhaltung Anfänger (links) und Fortgeschritten (rechts) (Kaeding, 2016)

Der Trainingsreiz kann über Variationen der Körperhaltung schrittweise gesteigert werden. Nach der stehenden Grundhaltung wäre eine einbeinige Übungsausführung anzustreben.

Bei der statischen Ausführung des **Einbeinstandes** (siehe Abbildung 9) auf der Vibrationsplatte wird von der stehenden Grundhaltung für Fortgeschrittene ausgegangen. Bei der Einsteigervariante wird das nicht auf der Vibrationsplatte positionierte Bein auf einem Steppbrett ähnlicher Höhe hinter dem Vibrationstrainingsgerät abgestellt. Das Standbein ist leicht gebeugt, die Hände sind, bei aktivierter Bauch- und Rückenmuskulatur, möglichst eingestützt. Sie können zur Unterstützung bei Bedarf auch die Haltegriffe umfassen. Der Kopf ist, wie schon bei der Grundposition, in Verlängerung der Wirbelsäule zu halten (Kaeding, 2016).

Nach Beherrschung statischer Übungen kann zum dynamischen Training übergegangen werden. Ausgegangen wird immer von der stehenden Grundposition. Im Folgenden werden für diese Arbeit sinnvolle Übungen exemplarisch vorgestellt.



Abbildung 9: Einbeinstand Anfänger (links), Fortgeschritten (rechts) (Kaeding, 2016)

Bei der **Viertel Kniebeuge** (dynamisch bzw. statisch) wird ausgehend von der Grundposition eine Kniebeuge mit einer Endposition von etwa $\sim 135^\circ$ im Kniegelenkwinkel eingenommen (siehe Abbildung 10) (Kaeding, 2016).

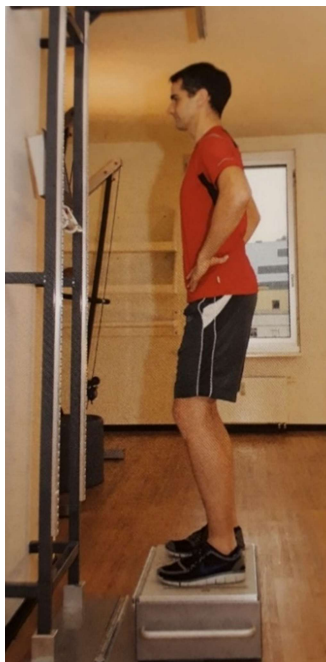


Abbildung 10: Viertel Kniebeuge Startposition (links), Endposition (rechts) (Kaeding, 2016)

Wichtig ist das alle beschriebenen Bewegungen kontrolliert mit durchgehend zumindest leicht gebeugten Knien durchgeführt werden. Bauch- bzw. Rückenmuskulatur sollten stets aktiviert sein und der Kopf befindet sich in der Verlängerung der Wirbelsäule (Kaeding, 2016).



Abbildung 11: Halbe Kniebeuge Startposition (links), Endposition (rechts) (Kaeding, 2016)

Bei der **Halben Kniebeuge** (dynamisch bzw. statisch) wird ausgehend von der Grundposition eine Kniebeuge mit einer Endposition von etwa $\sim 90^\circ$ im Kniegelenkwinkel eingenommen (siehe Abbildung 11). Auch hier wird von der stehenden Grundhaltung für Fortgeschrittene ausgegangen, diese wird mit angespannter Bauch – und Rückenmuskulatur kontrolliert eingenommen (Kaeding, 2016).

Schließlich wird noch die **Tiefe Kniebeuge** (dynamisch bzw. statisch) beschrieben. Bei ihr wird ausgehend von der Grundposition eine Kniebeuge mit einer Endposition von etwa $\sim 45^\circ$ im Kniegelenkwinkel eingenommen (siehe Abbildung 12).



Abbildung 12: Tiefe Kniebeuge Startposition (links), Endposition (rechts) (Kaeding, 2016)

Die Durchführung statischer oder dynamischer Kniebeugen zählt zu den häufigsten auf Vibrationsplattformen praktizierten Übungen. Hierbei stellt der Kniewinkel einen kritischen Faktor dar. Abercromby, Amonette, Layne, McFarlin, Hinman und Paloski, (2007a) stellten höhere Muskelaktivitäten bei statischen Kniebeugen bei einem Gelenkwinkel von 18.5° , im Vergleich zu dynamischen Kniebeugen zwischen $10 - 35^\circ$ Kniewinkel, fest.

Kleine Positionsveränderungen spielen eine große Rolle in Bezug auf den Dämpfungsprozess der Schwingungen. Die Belastung des Vorfußes aktiviert die verstärkte Dämpfung über die Unterschenkelmuskulatur, während dies bei Positionierung auf dem Mittelfuß nicht der Fall ist. Durch die Belastung des Vorfußes können somit unerwünschte Resonanzbildungen bzw. Schwingungsübertragungen auf Rumpf und Kopf vermieden werden (Rittweger, 2010).

Trainingsdauer

Nach einer individuell angepassten Gewöhnungsphase werden im Breitensport Durchgangslängen von maximal 60 Sekunden bei geringen Frequenzen (zwischen 5 und 10 Hertz) und Amplituden durchgeführt. Sobald sich die Trainierenden an das Gerät gewöhnt haben und die Körperposition während der Durchgänge gehalten werden kann, können die Trainingsparameter weiter gesteigert werden. Die jeweiligen Parameter sollten wieder zurückgenommen werden, wenn beispielsweise die Fußposition nicht gehalten werden kann. Diese Bewegung der Füße auf der Vibrationsplatte wird als „schwimmen“ bezeichnet. Weitere unerwünschte Veränderungen der Körperposition wären das Durchstrecken der Knie bzw. wenn das leichte Hohlkreuz nicht gehalten werden kann (Kaeding, 2016).

Nach eingehender Untersuchung verschiedener Studien mit unterschiedlichsten Expositionsdauern stellt Cochrane (2011) hinsichtlich intermittierender und langfristiger Vibrationstrainingsstudien einen Mangel an wissenschaftlich belegten optimalen Belastungszeiten fest. Wie bei Gewichtskrafttraining könnte es auch beim Vibrationstraining eine Trainingsdauer geben, bei der es im Laufe der Zeit zu abnehmenden Erfolgen kommen könnte. Bei einer Trainingsdauer größer 60 Sekunden werden entweder niedrigere Beschleunigungen (mit dem Risiko geringerer muskulärer Leistung) oder bei höheren Beschleunigungen höhere Verletzungsrisiken bei längerer Exposition in Kauf genommen. Intermittierende Protokolle könnten gegenüber Langzeitprotokollen den Vorteil haben, bei anhaltender Stimulation die Muskelermüdung gering zu halten (Cochrane, 2011).

Kaeding 2016 hält in Bezug auf die Trainingssteuerung des Ganzkörpervibrationstrainings zusammenfassend fest, dass eine regelmäßige Veränderung der Trainingsparameter bei der Anwendung sinusförmiger Schwingungen essenziell ist. Dies wird durch eine relativ rasche Sättigung der Rezeptoren, einhergehend mit einer schnelleren Adaptation und Gewöhnung des Körpers an den sinusförmigen Schwingungsreiz, begründet (Marin & Rhea, 2010a). Um die Effektivität des Vibrationstrainings gewährleisten zu können, wird daher eine regelmäßige Veränderung folgender Trainingsparameter empfohlen (Kaeding, 2016):

- Frequenz (4 - 50 Hz)
- Amplitude (unter 1 mm – 12 mm)
- Körperposition
- Übungen (statisch/ dynamisch), Anzahl der Übungen
- Anzahl der Durchgänge (Sätze)
- Dauer der Durchgänge (30 – 120 Sekunden)
- Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche
- Pausengestaltung (30 – 120 Sekunden)

Schuhwerk

In jedem Fall ist zu empfehlen in den ersten Monaten eines Vibrationstrainings geeignete Sportschuhe zu tragen. Diese sollten eine dünne, rutschhemmende, eher härtere Sohle aufweisen. (Kaeding, 2016).

Die Dämpfungseigenschaften des gewählten Schuhwerks können während des Vibrationstrainings Änderungen hinsichtlich der gewählten Frequenz bzw. Amplitude nach sich ziehen. Zudem verfügen Laufschuhe über eine größere Kontaktfläche im Vergleich zum bloßen Fuß. Hierdurch könnten während des Trainings höhere Schwingungsübertragungen von den unteren Extremitäten auf den Körper erfolgen. Auch dies müsste im Trainingsprotokoll berücksichtigt werden. Laut Studienergebnissen zur Thematik dürfte die Wahl des Schuhwerks eine wichtige Rolle spielen und damit Einfluss auf die Effektivität des Ganzkörpervibrationstrainings haben. (Marin et al. 2009).

Das Trainieren mit nackten Füßen auf der Vibrationsplattform sollte erst nach mehrjähriger Trainingserfahrung erfolgen. Die Muskulatur der unteren Extremitäten sollte als Voraussetzung, bei gegebener Fußgesundheit, entsprechend trainiert und ausgebildet sein. Eine weitere Möglichkeit wäre die Nutzung entsprechender „Barfußschuhe“ auf dem Gerät.

1.4.5 Physiologische Wirkungsmechanismen

Die Wirkungsweise des Vibrationstrainings ist bis heute nicht restlos geklärt. Durch die von außen übertragenen Schwingungen verändern sich in Abhängigkeit von der Amplitude v. a. die Gelenkwinkel der unteren Extremitäten (Kaeding, 2016). Die Änderung der Gelenksstellung führt zur Dehnung der beteiligten Muskelspindeln und in weiterer Folge zur reflektorischen Kontraktion der beteiligten Muskelgruppen. Die muskuläre Aktivität dämpft einerseits die eingeleitete Schwingung und erzeugt andererseits eine vermehrte Durchblutung. Plattennahe Muskel werden hierbei stärker aktiviert (Luo et al., 2005; Kaeding, 2016). Im Folgenden werden die aktuell diskutierten potenziellen physiologischen Wirkmechanismen vorgestellt.

Neuromuskuläre Adaptation

Während des Vibrationstrainings kommt es zu einer Erhöhung der mittels EMG messbaren Muskelaktivität. Diese Aktivitätssteigerungen rufen allerdings keine langfristige Änderung der EMG Aktivität hervor (Wilcock et al., 2009). Die muskuläre Leistungssteigerung wird auf neuronale Faktoren, wie eine verbesserte Rekrutierung, Synchronisation, gesteigerte Propriozeption sowie muskuläre Koordination zurückgeführt. Es kommt zu einer ähnlichen Überbelastung wie beim konventionellen Krafttraining, welche zu Langzeittrainingseffekten führen könnte (Kaeding, 2016).

Der tonische Vibrationsreflex (TVR)

Der tonische Vibrationsreflex ist eine akute Reflexantwort, die durch mechanische Schwingungen ausgelöst werden kann. Die geläufigste Theorie dazu ist, dass die neuromuskuläre Potenzierung gesteigert wird. Die afferenten Neuronen werden sensitiver gegenüber einer Muskeldehnung, wodurch die Aktivierung der Alpha Motoneuronen erhöht wird. Diese Reflexantwort erlaubt, durch eine gesteigerte Rekrutierung von motorischen Einheiten, erhöhte Feuerfrequenzen durch verbesserte Synchronisation, eine schnellere und kraftvollere Muskelkontraktion. Durch diesen Mechanismus könnte die auf dem Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus basierende athletische Leistungsfähigkeit gesteigert werden (Wilcock et al., 2009; Jordan et al., 2005).

Die Körperposition, Schwingungsfrequenz und Vorspannung der Muskeln haben ebenfalls Einfluss auf den tonischen Vibrationsreflex (Jordan et al., 2005).

Erhöhte Gravitationskräfte

Normale Gravitationsbedingungen sind nötig, um die Leistungsfähigkeit der Muskulatur erhalten zu können. Unter Mikrogravitation, sogenannter Schwerelosigkeit, würde die Muskulatur ihre Leistungsfähigkeit verlieren. Erhöhte Gravitationskräfte, die beispielsweise durch mechanische Schwingungen in den Körper eingeleitet werden, können die muskuläre Leistungsfähigkeit und den Muskelquerschnitt zusätzlich erhöhen (Crewther, Cronin, Keogh, 2004). Diese Gravitationskräfte werden in Studien häufig als Indikator für die Intensität der Schwingungen herangezogen. Der Körper versucht seinerseits diese Vibrationen durch Muskelkontraktionen zu dämpfen. Die applizierten Beschleunigungen variieren durch die möglichen Kombinationen von Amplituden sowie Frequenzen und die zahlreichen unterschiedlichen Gerätetypen (Kaeding, 2016; Cardinale & Bosco, 2003).

Effekte auf Knochen

Rittweger (2010) beschreibt in seinem ausführlichen Review zwei unterschiedliche theoretische Ansätze. Die erste Philosophie basiert auf der Annahme, dass Muskelkontraktionen die größten auf unsere Knochen wirkenden Zugkräfte darstellen und jegliche Anpassungen und Stärkung der menschlichen Knochenkraft im Rahmen des Ganzkörpervibrationstrainings auf diese muskuloskeletalen Kräfte zurückzuführen wären.

Das zweite Denkmodell berücksichtigt zusätzlich zur Spannung/Dehnung des Knochens noch Signale, wie die Dehnungsgeschwindigkeit, Formänderungsenergie oder Flüssigkeitsströme, die ebenfalls eine Rolle als knochengenerierende Reize spielen könnten. Es wird diskutiert, ob geringe Schwingungsstimuli ebensolche Effekte haben könnten wie Vibrationen höherer Größenordnung. Wäre dies der Fall, könnten OsteoporosepatientInnen mit geringeren Amplituden und damit ebensolchem Frakturrisiko einer Behandlung zugeführt werden (Rittweger, 2010).

1.4.6 Akute und chronische Effekte

Muskulatur, Knochen, Nerven- und Hormonsystem reagieren auf in den Körper eingeleitete Schwingungen. Im Folgenden wird eine Beschreibung der wichtigsten durch Vibrationstraining zu erwartenden Auswirkungen auf sportlich bzw. gesundheitlich relevante Aspekte gegeben. Der Vollständigkeit halber wurde eine tabellarische Übersicht bislang untersuchter akuter und chronischer Effekte des Vibrationstrainings in dieses Kapitel integriert (Kaeding, 2016) (Tabelle 6).

Auswirkungen auf die muskuläre Leistungsfähigkeit

Im günstigsten Fall lassen sich die Auswirkungen sinusförmiger Schwingungen auf Maximalkraft und Schnellkraft der unteren Extremitäten mit den Effekten eines konventionellen Krafttrainings vergleichen. Hierbei fällt auf, dass besonders ältere, kranke bzw. untrainierte Personen, also Personen mit einem geringen Ausgangsniveau, am meisten von Ganzkörpervibrationstrainingsmethoden profitierten (Rehn, Lidström, Skoglund, Lindström, 2007; Marin & Rhea, 2010a; Marin & Rhea, 2010b). Diese positiven Auswirkungen auf die muskuläre Leistung dürfte durch eine Verbesserung der inter- und intramuskulären Koordination erzielt werden (Kaeding, 2016).

In Bezug auf die Schnellkraft wurde ein altersabhängiger Effekt beobachtet. Ältere Personen zeigen hier deutlichere Leistungsverbesserungen als jüngere Probanden. Des Weiteren konnten hier größere chronische Effekte mit Hilfe vertikal schwingender Systeme erzielt werden. Es wird vermutet, dass durch die Bauart dieser Geräte trainingswirksame höhere Frequenzen und Beschleunigungen erzielt werden können (Marin & Rhea, 2010a; Marin & Rhea, 2010b).

Auswirkungen auf die Koordination und Gleichgewichtsfähigkeit (posturale Kontrolle)

Die aktuelle Literatur gibt Hinweise, dass insbesondere Vibrationstraining mit seitenalternierenden Systemen bei älteren Personen die posturale Kontrolle signifikant positiv beeinflussen kann. Bei vertikal schwingenden Geräten konnten vergleichsweise nur geringe positive Auswirkungen auf diesen Faktor festgestellt werden (Lam, Lau, Chung & Pang, 2012).

Tabelle 6: Übersicht akuter und chronischer Effekte von Vibrationstrainingsmethoden (Kaeding, 2016)

Akute Effekte		Chronische Effekte	
Studienergebnis, das keinen Effekt zeigt =			
Studienergebnis mit positivem Effekt =			
Studienergebnis mit negativem Effekt.....=			
Leistungsfähigkeit Muskulatur (vgl. Jordan et al., 2005) Heterogenität der Ergebnisse, wahrscheinlich durch unterschiedliche Messzeitpunkte bedingt (vgl. Marin und Rhea, 2010a)	  	Leistungsfähigkeit Muskulatur (vgl. Rhen et al., 2007)	 
Durchblutung (vgl. Kerschan – Schindl et al., 2001)		Muskelhypertrophie (vgl. Bogaerts et al., 2007)	 
Lumbosacrale Propriozeption (vgl. Fontana et al., 2005)		Knochenmasse (vgl. Johnell & Eisman, 2004; vgl Karakiriou et al. 2012)	 
Testosteron/ GH/IGF-1 (vgl. Bosco et al., 2000; Kvornig et al., 2006, Cardinale et al., 2006)	 	Posturale Kontrolle (vgl. Runge et al., 2000; vgl. Torvinen et al., 2002)	 
Cortisol (vgl. Kvornig et al., 2006; Bosco et al. 2000)	 	Steigerung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit (vgl. Bogaerts et al., 2009)	 
Posturale Kontrolle (vgl. Runge et al., 2000; vgl. Haas, 2003)	 		
Arterielle Steifigkeit (vgl. Otsuki et al., 2008)	 		

Auswirkungen auf die Knochengesundheit

Vibrationstraining scheint einen positiven Einfluss auf den Knochenstoffwechsel bzw. die Knochengesundheit v. a. älterer Personen zu haben. Langfristiges Ganzkörpervibrations-training dürfte hier bedeutsame Wirkungen in Hinblick auf den Erhalt bzw. die Zunahme der Knochendichte und damit die Prävention von Osteoporose haben. Aber auch andere Bevölkerungsgruppen, die dem Risiko eines erhöhten Knochenschwundes ausgesetzt sind, wie postmenopausale Frauen oder Astronauten, könnten von diesen Beobachtungen profitieren (Dolny & Reyes, 2008; Jordan, 2005).

Auswirkungen auf die Beweglichkeit

Dolny & Reyes (2008) gehen davon aus, dass eine Kombination von konventionellem Beweglichkeitstraining mit Vibrationstraining einen positiven Einfluss auf die Flexibilität und den Bewegungsumfang haben könnte. Die verminderte Steifigkeit von Muskel- und Sehnen, die Hemmung der Antagonisten oder auch eine verminderte Schmerzempfindlichkeit könnten Ursachen für die verbesserte Beweglichkeit sein. Weitere diskutierte Mechanismen und Erklärungsansätze für die beweglichkeitssteigernde Wirkung sind Temperatureffekte sowie neurologische Anpassungen der Muskulatur (Cochrane, 2013).

Auswirkungen auf kardiovaskuläre Indizes

Auf das Herz-Kreislauf-System scheint Vibrationstraining nur geringe Auswirkungen zu haben. Möglicherweise, weil Ganzkörpervibrationstraining die Herzfrequenz nicht im gleichen Ausmaß steigern kann, wie aerobes Training (Cochrane, 2011). Rittweger, Beller und Felsenberg (2000) stellten nach Ausbelastung einen Anstieg der Herzfrequenz um 30 % und des systolischen Blutdrucks um 15 % fest und beurteilten die Auswirkungen als „moderat“.

1.4.7 Risiken und Kontraindikationen

Die meisten Vibrationstrainingsstudien befassen sich mit akuten bzw. intermittierenden Expositionen und berichten wenig über mit Vibrationstraining einhergehende Risiken. Auf dem Gebiet der Arbeitsphysiologie wurden ausführliche Untersuchungen negativer Effekte von Vibrationen auf Personen durchgeführt, die konstant und wiederkehrend Schwingungen unterschiedlicher Geräte ausgesetzt sind. Es konnte gezeigt werden, dass die langfristige Exposition bei der Ganzkörpervibration bzw. der Verwendung oszillierender Hanteln vaskuläre, neurologische, Knochen-, Gelenks- und Muskel-erkrankungen auslösen kann (Cochrane, 2011; Wilcock et al., 2009).

Im beruflichen Umfeld wurden die negativen Auswirkungen langfristiger Schwingungseinwirkung ausführlich untersucht. Es konnten verschiedene Krankheitsbilder, verursacht durch Vibrationen, belegt werden, wie der Verlust der Wahrnehmungsfähigkeit, Durchblutungsstörungen und auch degenerative Veränderungen von Knochen und Gelenken (Kaeding, 2016).

Die für den Arbeitsbereich geltenden Normen, wie zum Beispiel ISO 2631-1 (1997), sind für die Anwendung im Bereich des Ganzkörpervibrationstrainings nur eingeschränkt geeignet, da sie ursprünglich für Flugzeugpiloten und Kraftfahrer entwickelt wurden. Hier erfolgt die Schwingungstransmission durch das Gesäß, so dass negative Effekte hauptsächlich die Wirbelsäule bzw. innere Organe betreffen.

Nur wenige Studien berichten über negative Wirkungen von Vibrationstraining. Juckreiz bzw. Hitzegefühl in den unteren Extremitäten, Schwindelgefühl (Vertigo) sowie Hüftbeschwerden wurden bei untrainierten Personen, die akuten Schwingungsreizen ausgesetzt waren, beobachtet. Die StudienteilnehmerInnen bei denen diese Nebenwirkungen auftraten, befanden sich in stehender Position oder Kniebeuge Haltung und wurden Frequenzen von 10, 20 und 30 Hertz eines seitenalternierend schwingenden Gerätes ausgesetzt. Am häufigsten beklagten die ProbandInnen Hitzegefühl (6 Personen), gefolgt von Juckreiz (5 Personen) in den unteren Extremitäten. Weiter wurden auch Übelkeit, Krämpfe, Waden- und Rückenschmerzen beklagt. Genaue Ursachen für die Nebenwirkungen konnten nicht angegeben werden, allerdings vermuten die Autoren, dass der Kontakt der ganzen Fußsohle mit der Vibrationsplatte zu veränderten Dämpfungseigenschaften und damit zu einzelnen negativen Effekten geführt haben könnte.

Weiter empfehlen sie besondere Vorsicht bei Frequenzen ab 30 Hertz bzw. bei größeren Amplituden walten zu lassen, da hier auch höhere Gravitationskräfte zu erwarten sind (Crewther et al., 2004).

Als Nebenwirkung wird von Trainierenden selten ein kurz anhaltendes Gefühl von Schwindel, Übelkeit, Kopfschmerzen, „Kribbeln“ sowie Rötungen von Teilen der unteren Extremitäten angegeben. Diese können im Rahmen der ersten 3 – 10 Trainingseinheiten auftreten (Fernandez-Rio, Terrados, Fernandez-Garcia, Suman 2010). Treten diese Nebenwirkungen während eines aktuellen Durchganges auf, so sollte dieser abgebrochen werden und für folgende Sätze die Einstellung hinsichtlich Frequenz und Amplitude entsprechend angepasst werden. So könnten Resonanzentwicklungen unterbunden werden. Ist diese Maßnahme nicht erfolgreich, sollte eine Abklärung durch den Arzt erfolgen. Kribbeln und Rötungen der unteren Extremitäten sind als Reaktion und Teil der Wirkungsweise des Vibrationstrainings und nicht als gesundheitliche Gefährdung zu betrachten (Kaeding, 2016).

Weitere Berichte über Schmerzen während der akut intermittierenden Anwendung von Vibrationstraining betrafen ebenfalls untrainierte Personen. Nach einer Exposition von Schwingungsreizen einer Frequenz von 26 Hertz und einer Amplitude von 6 mm wurden Nacken-, Kieferschmerzen und Missempfindungen in den unteren Extremitäten angegeben, die nach einer eingeleiteten physiotherapeutischen Behandlung wieder sistierten (Cronin, Oliver & McNair, 2004).

Die Studien von Crewther et al. (2004) und Cronin et al. (2004) unterstreichen die Bedeutung einer adäquaten Einschulung von StudienteilnehmerInnen, PatientInnen bzw. Trainierenden durch entsprechend geschulte Personen. Weiter sollte ein besonderes Augenmerk auf die korrekte Körperhaltung bzw. Übungsausführung auf den Vibrationsplattformen gelegt werden.

Berichten zufolge werden bei aufrechter Körperhaltung auf der Vibrationsplatte vergleichsweise mehr Schwingungen an den Kopf weitergeleitet als bei gebeugten Knien. Auch die Verlagerung des Körpergewichts auf den Vorfuß vermindert die Schwingungstransmission (Cochrane 2011).

Demgemäß hat das Tragen von Sportschuhen Einfluss auf die Dämpfung weitergeleiteter Schwingungen und kann als Trainingsparameter betrachtet werden (vgl. Kapitel 1.4.4 Parameter zur Trainingssteuerung) (Marin et al., 2009).

Wie im Abschnitt zur Grundhaltung beschrieben (vgl. Kapitel 1.4.4), sollten die Beine stets leicht gebeugt gehalten werden. So kann die beteiligte Muskulatur entsprechend aktiviert und eine Übertragung der Schwingungen auf den Kopf vermieden werden. Wie bereits erwähnt, sind sitzende oder liegende Positionen wegen der vermehrten Vibrationsübertragung auf den Kopf als kritisch einzustufen. Hierbei kann es zu einer Beeinträchtigung der Sehkraft und des Gleichgewichtssinnes sowie im schlimmsten Fall zu einer Retinaablösung kommen (Kaeding, 2016).

Höhere Dämpfungen bzw. eine bessere Absorption von Vibrationen und damit eine geringere Beschleunigung des Kopfes konnten bei Kniewinkel von 10 – 15 ° festgestellt werden. Dieselben Autoren stellten fest, dass Kniebeugen bei einem Winkel von 26 – 30° die Schwingungsübertragung auf den Kopf verhindern kann und umgekehrt, kleinere Kniewinkel während des Vibrationstrainings unerwünschte Begleiterscheinungen durch in den Oberkörper weitergeleitete mechanische Energie vermeiden können (Abercromby et al. 2007a).

Gemäß Literatur wäre für die sichere Nutzung von Vibrationstrainingsplattformen eine Gesamttrainingszeit von 10 bis maximal 15 Minuten pro Einheit vertretbar. Die Sätze sollten maximal 120 Sekunden dauern (bei Anwendung des Trainings in der Abwärm- bzw. Regenerationsphase bis maximal 240 Sekunden) (Mester et al., 2006).

Negative Auswirkungen von Vibrationstraining können bei der Überschreitung von Grenzwerten hinsichtlich Dauer, Intensität, Frequenz und Amplitude auftreten. Auch die inneren Organe, die beim Menschen einer Eigenschwingung unterliegen können, bei nicht ausreichender Dämpfung durch das Phänomen der Resonanz, negativ beeinflusst werden (siehe Kapitel 1.4.2 Resonanzkatastrophe). Resonanz sollte folglich beim Training vermieden werden. Sie ist, abgesehen vom Vibrationssystem, abhängig vom Körpergewicht (je höher, desto geringer), der Muskelsteifheit (je höher, desto höher) und der Körperposition der AthletInnen (Kaeding, 2016; Mester et al. 2006).

Kritische Resonanzbereiche sind für folgende menschliche Organe zu nennen (Mester et al. 2006):

- 8 Hz innere Organe und Wirbelsäule
- 18 Hz Gehirn
- 20 Hz Auge

Werden sicherheitsrelevante Hinweise, beispielsweise korrekte Grundhaltung mit gebeugtem Knie und Ballenstand, berücksichtigt, kann man von einer ausreichenden Dämpfung und damit sicheren Übungsausführung ausgehen (Rittweger, 2010).

Aufgrund der Bauweise von seitenalternierenden Geräten kann vermutet werden, dass die Gefahr für das Auftreten von Nebenwirkungen geringer ist. Besonders gefährliche Positionen, wie Sitzen und Liegen, werden hier nur selten eingenommen. Bei korrektem Gebrauch wird außerdem der Rumpf nicht beschleunigt, es werden damit signifikant weniger Schwingungen auf den Kopf übertragen als bei vertikal synchron arbeitenden Geräten (Abercromby et al. 2007b).

Die Hersteller der unterschiedlichen Gerätetypen geben jeweils unterschiedliche Kontraindikationen (Gegenanzeigen) für das Training mit ihrem Fabrikat an. Hierbei wird zwischen „absoluten und relativen Kontraindikationen“ unterschieden. Absolute Kontraindikationen verbieten die Trainingsaufnahme vollständig (Mester et al. 2006). Um das Vorliegen von Kontraindikationen ausschließen zu können, sollte vor Aufnahme eines Vibrationstrainings eine sportärztliche Untersuchung erfolgen. Das Ergebnis, welches als Maßgabe für die anschließende Trainingsintervention dient, sollte von den AthletInnen im Vorfeld schriftlich bestätigt werden. Kontraindikationen des Herstellers sind in jedem Fall zu beachten.

Im Folgenden sind exemplarisch Kontraindikationen eines seitenalternierend arbeitenden Gerätes (Galileo®) im Vergleich zu einem vertikal arbeitenden Vibrationstrainingsgerätes in Tabellenform aufgelistet (Power Plate®) (Kaeding, 2016)

Tabelle 7: Übersicht über vom Hersteller angegebene Kontraindikationen (vgl. Kaeding, 2016):

Absolute und relative Kontraindikationen gemäß Herstellerangaben (Stand 2014)	
Galileo®	Power Plate®
Kontraindikationen	Absolute Kontraindikationen
• Schwangerschaft • Akute Thrombose • Implantat in trainierten Körperregion (z. B. künstliches Gelenk) • Akute Entzündungen des Bewegungsapparates, aktivierte Arthropathie • Akute Tendinopathien (Sehnenentzündung) trainierter Körperregionen • Akute Hernien (Gewebebrüche) • Akute Diskopathie (bandscheibenbedingtes Rückenproblem) • Frische Frakturen (Knochenbrüche) in trainierten Körperregionen • Steinleiden von Gallenwegen und ableitenden Harnwegen • Nach Operationen und bei frischen Wunden / Narben • Rheumatoide Arthritis • Epilepsie aufgrund sekundärer Verletzungsgefahr	• Akute Erkrankungen und entzündliche Prozesse • Thrombose • Frische Wunden, sowie Operationen die weniger als 6 – 8 Wochen her sind • Implantate, die jünger als 6 Monate sind • Stents, die jünger als 6 Monate sind • Höhergradige Osteoporose (T-Score über 3.0) • Unbehandelter Bluthochdruck • Schwerer Diabetes mellitus (Typ 2) mit Mikroangiopathie, Gangrän, diabetisches Fußsyndrom • Herzschrittmacher • Aneurysmen • Schwangerschaft
	Relative Kontraindikationen
	• Nicht-akute Rückenbeschwerden • Stents bzw. Bypässe, die älter 6 Monate sind • Implantate (Prothesen), die älter 6 Monate sind • Gallen- und Nierensteine

	• Kardiovaskuläre Erkrankungen • Arthrose • Epilepsie • Dreh-, Lagerungsschwindel, Bewegungskinestosen • Kinder unter 16 Jahren, die noch nicht ihre Pubertät abgeschlossen haben • Herzschrittmacher • Tumore, Chemo- und Krebstherapie (muss vom behandelnden Arzt freigegeben werden)
--	--

Insgesamt ist Vibrationstraining eine sichere Möglichkeit die physiologischen Muskelreflexe, Muskelaktivitäten sowie Muskelfunktionen bei AthletInnen, älteren und kranken Personen zu steigern (Cochrane, 2011).

Allerdings sollte aus den negativen Effekten, die am Arbeitsplatz beobachtet werden konnten, die Lehre gezogen werden, auch Vorsicht beim Vibrationstraining walten zu lassen. Damit in Zukunft AthletInnen bei höheren Trainingsbelastungen und Trainingsintensitäten nicht mit ähnlichen Nebenwirkungen konfrontiert sind, sollte beim Ganzkörpervibrationstraining mit längeren Expositionszeiten ein engmaschiges Monitoring berücksichtigt werden (Wilcock et al. 2009).

Weitere Studien sind erforderlich, um die Sicherheit bei der zielgerichteten und sachgemäßen Nutzung von Ganzkörpervibrationstraining für verschiedene Personengruppen zu verbessern.

2 Methodik

2.1 Studiendesign

Zur Beantwortung der wissenschaftlichen Fragestellung dieser Übersichtsarbeit (Review) wurde eine systematische Literatursuche in Anlehnung an das PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) Statement von Moher, Liberati, Tetzlaff, Altman und PRISMA Group (2009) durchgeführt.

Reviews betrachten eine gezielt formulierte Fragestellung systematisch. Mit Hilfe nachvollziehbarer Methoden werden relevante Studien identifiziert, gesammelt und kritisch geprüft, um aus inkludierten Forschungsbeiträgen Daten zur Fragenbeantwortung auszuwählen und zu analysieren (Moher et al., 2009). Die Literaturübersicht soll evidenzbasierte Aussagen zu einem klar definierten Thema ermöglichen.

Für das vorliegende Review wurden die in den PRISMA Richtlinien empfohlene 27 Punkte Checkliste sowie das Vier-Phasen-Flussdiagramm herangezogen (Moher et al., 2009).

Die gezielte hermeneutische Datenerhebung wurde durch wissenschaftliche elektronische Onlinedatenbanken sowie einschlägige, fachspezifische Literatur unterstützt. Die hauptsächlich für diese Literaturübersicht genutzten Datenbanken waren „PubMed“, „SportDISCUS“ sowie „Google Scholar“.

Vor Durchführung der Studiauswahl mittels Datenbankrecherche wurden Ein- und Ausschlusskriterien mit Hilfe der PICOS – Kriterien (vgl. PRISMA Statement) festgelegt, um die für die Beantwortung der Fragestellung relevanten Artikel gezielt herausfiltern zu können.

Das Risiko der Verzerrung der einzelnen Studien wurde seitens der Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Skala empfohlenen Kriterien ermittelt. Die PEDro Skala beurteilt die interne Validität von Studien sowie die Reproduzierbarkeit statistischer Daten auf einer Skala von 0 bis 10. Der Grenzwert für qualitativ hochwertige Studien liegt bei einem cutoff Wert von 6 (Maher, Sherrington, Herbert, Moseley, Elkins, 2003).

2.2 Studienauswahl – Suchstrategie

Berücksichtigt wurden Studien der letzten 5 Jahre in deutscher oder englischer Sprache. Weiters wurden nur Studien mit menschlichen Probanden miteinbezogen. Demgemäß wurden zusätzliche Filterkriterien wie beispielsweise “humans”, “years”, “english” und “german” verwendet.

Folgende Keywords wurden bei der Onlinerecherche verwendet: vibration, benefit, advantage, beneficial, effect, risk, disadvantage, harmful, adversarial, sport, training, exercise, physical activity.

Um bei der Suche bestmögliche Ergebnisse zu erzielen, wurden die genannten Operatoren in vier Unterkategorien eingeteilt und miteinander kombiniert:

- sport OR athlete OR sportsmen OR sportswomen OR trained OR training OR exercise OR athletic performance OR physically active
- vibration AND athletes OR sports OR athletics
- benefit OR advantage OR beneficial OR effect OR performance
- risk OR disadvantage OR harmful OR adversarial

Die Literatursuche konnte anhand der eingegebenen Operatoren und Filter zahlreiche Treffer erzielen.

2.3 Ein- und Ausschlusskriterien

Anhand der PICOS Kriterien wurden die Studien selektiert bzw. einzelne Studien ein- oder ausgeschlossen.

P (participants) I (interventions) C (control) O (outcomes) S (study design)

StudienteilnehmerInnen (participants)

Es wurden ausschließlich Leistungs- bzw. WettkampfsportlerInnen als ProbandInnen miteinbezogen, die ein umfangreiches Trainingspensum absolvieren. Dabei wurde nicht zwischen der Leistungsfähigkeit oder Leistungsstärke einzelner SportlerInnen unterschieden bzw. differenziert.

Es wurde keine Vorauswahl in Bezug auf die Sportart getroffen, um eventuell Tendenzen zu einer Sportart oder Sportartengruppe identifizieren zu können, die im besonderen Maß vom Vibrationstraining profitieren könnten. Weiter wurden Studien mit gesunden ProbandInnen ab einem Alter von 16 Jahren ausgewählt. Unterschiede in Bezug auf das Geschlecht der ProbandInnen führten nicht zum Ausschluss.

Interventionsgruppen (interventions)

Es wurden Studien mit dynamischen und statischen Vibrationstrainingsinterventionen auf Platten ausgewählt. Dabei wurden sowohl Studien, die Vibrationstraining als alleinige Interventionsmethode beinhalten, als auch solche, mit Trainingsprogrammen, bestehend aus verschiedenen Komponenten, miteinbezogen. Ein Kriterium der Studienausswahl war lediglich, dass Ganzkörpervibrationstraining zumindest ein Teil des Programmes sein musste. Studien, die Vibrationen lokal am Muskelbauch oder im Bereich des Sehnenansatzes anwenden, wurden exkludiert.

Kontrollgruppen (control)

Es wurden lediglich Studien inkludiert, die über eine Kontrolle verfügten. Die Kontrollgruppe führte entweder das gleiche Training wie die Interventionsgruppe bei abgeschaltetem Gerät oder ein alternatives Trainingsprogramm durch. Bei einigen Studien wurde statt einer Kontrollgruppe eine Kontrollbedingung vorausgesetzt. Dieselbe Person wurde unter der Kontrollbedingung (keine Behandlung) und der experimentellen Bedingung untersucht. Anschließend wurden die Werte miteinander verglichen.

Studienendpunkte (outcomes)

Als Zielkriterien wurden akute und chronische Effekte des Ganzkörpervibrationstrainings auf die Maximalkraft und Schnellkraft, die Beweglichkeit bzw. den Bewegungsumfang sowie die athletische Leistungsfähigkeit untersucht.

Studiendesign (study design)

Die Literaturübersicht beinhaltet kontrollierte Studien in Bezug auf Ganzkörpervibrations-training im Leistungssport der letzten fünf Jahre, also im Zeitraum von 2014 bis 2019.

Tabelle 8: Übersicht der Ein- und Ausschlusskriterien zur Studienauswahl

Übersicht der Ein- und Ausschlusskriterien zur Studienauswahl		
	Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
TeilnehmerInnen (participants)	• Trainierte Personen (Wettkampf- oder Leistungssport); • Sportarten aller Art • Gesunde Personen, älter als 16 Jahre • Unabhängig vom Geschlecht	• Untrainierte Personen • Kranke Personen, jünger als 16 Jahre
Interventionsgruppe (interventions)	• Vibrationstraining auf Platten • Dynamische oder statische Übungen	• Lokale Anwendungen von Vibrationstraining
Kontrollgruppe (control)	• Trainingsprogramm auf abgeschalteter Platte • Gleiches Programm ohne Vibrationsplattform	• Keine Kontrollgruppe
Studienendpunkte (outcomes)	Akute und chronische Effekte: • Maximalkraft • Schnelligkeit • Beweglichkeit • Bewegungsumfang • Athletische Leistungsfähigkeit	• Andere Messparameter
Studiendesign (study design)	• randomisiert, kontrollierte Studien (RCTs) • in englischer oder deutscher Sprache • Zeitraum: 2014 bis 2019	• prospektive, nicht randomisierte Studien • Fall-Kontroll Studie • prospektive oder retrospektive Fallstudien • Fallberichte • Expertenmeinungen

2.4 Selektionsprozess relevanter Studien

Zusätzlich zu den Onlinedatenbanken „PubMed“, „SportDISCUS“ bzw. „Google Scholar“ wurden auch u:search bzw. die Fachbibliothek des Institutes nach relevanten Artikeln, Beiträgen oder Büchern durchsucht. Durch Verwendung der oben genannten Operatoren und Filter konnten zahlreiche Treffer erzielt werden. Für die Bearbeitung der theoretischen Grundlagen wurde jegliche Art von Literatur zum Thema „Vibrationstraining“ eingeschlossen. Weitere Studien konnten durch zitierte Literaturstellen in den zahlreich gelesenen Artikeln und Reviews zum Thema gefunden und auf die Einschlusskriterien überprüft werden.

Nach Abschluss der Recherche wurden unter Berücksichtigung der Ein- und Ausschlusskriterien die gefundenen Studien geprüft, ausgewählt und zur Beantwortung der Forschungsfragen herangezogen. Duplikate wurden entfernt und die relevanten Artikel anhand Titel und Abstract gescreent. Diese Auswahl erfolgte nach dem PRISMA Schema (siehe Abbildung 13). Einige vorausgewählte Studien waren nicht frei zugänglich und mussten schließlich, ohne den Volltext gelesen zu haben, ausgeschlossen werden. Inkludierte Studien wurden eingehend analysiert, interpretiert und verglichen.

Schließlich konnten geeignete Studien für diese Literaturübersicht zusammengetragen und die Recherche abgeschlossen werden.

2.5 Datenextraktion

Die für diese Studie extrahierten Daten beinhalteten Titel, Journal, Autoren, Publikationsjahr, Studiendesign, Alter und Geschlecht der TeilnehmerInnen, Anzahl der TeilnehmerInnen in Interventions- und Kontrollgruppe, Intervention und Studienendpunkte

2.6 Risiko der Verzerrung

Das Risiko der Verzerrung der einzelnen Studien wurde seitens der Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Skala empfohlenen Kriterien ermittelt. Die PEDro Skala beurteilt die interne Validität von Studien sowie die Reproduzierbarkeit statistischer Daten auf einer Skala von 0 bis 10. Der Grenzwert für qualitativ hochwertige Studien liegt bei einem cutoff Wert von 6 (Maher, Sherrington, Herbert, Moseley, Elkins, 2003).

3 Ergebnisse

3.1 Auswahl der Studien

Nach abgeschlossener Online Recherche und Selektion der Studien nach den oben genannten Ein- und Ausschlusskriterien wurden schließlich 12 Studien für die Literaturübersicht ausgewählt. 261 Studien wurden im Zuge dieses Prozesses anhand ihres Titels und Abstracts gescreent und 240 davon als nicht geeignet ausgeschlossen. Nach dieser Vorauswahl wurden die verbliebenen 21 Studien zur Gänze gelesen und auf ihre Eignung geprüft. Die Gründe für den Ausschluss der Studien waren unterschiedlich. Bei zwei Studien waren die ProbandInnen unter den geforderten 16 Jahren. Bei einer weiteren Studie war die Grundhaltung auf der Vibrationsplatte eine kniende Position. Eine Studie musste ausgeschlossen werden, da das Vibrationstraining nicht auf einer Vibrationsplattform, sondern auf einem Gerät anderer Bauweise durchgeführt wurde. Eine Studie konnte nicht einbezogen werden, da es sich bei den ProbandInnen nicht um LeistungssportlerInnen handelte. Das Fehlen von Kontrollgruppen führte zum Ausschluss drei weiterer Studien.

Die verbliebenen 12 Studien (Cloak, Lane & Wyon, 2016a; Cloak, Nevill & Wyon, 2016b; Despina, George, George, Sotiris, Alessandra, George, Maria, Stavros, 2014; Kurt & Pekünlü, 2015; Naclerio, Faigenbaum, Larumbe-Zabala, Ratamess, Kang, Friedman, Ross, 2014; Oliveira, Cochrane, Drummond, Albuquerque, Almeida, Couto, 2018; Padulo, Di Giminiani, Ibba, Zarrouk, Moalla, Attene, Migliaccio, Pizzolato, Bishop, Chamari, 2014; Pérez-Turpin, Zmijewski, Jimenez-Olmedo, Jové-Tossi, Martínez-Carbonell, Suárez-Llorca, Andreu-Cabrera, E., 2014; Rønnestad, Slettalokken, Ellefsen, 2016; Rønnestad, Moen, Gunnerød, Øfsteng, 2018; Suarez-Arrones, Tous-Fajardo, Nunez, Gonzalo-Skok, Galvez, Mendez-Villanueva, 2014; Wang, Chen, Liu, Yang, Huang, Shiang, 2014) wurden zur Beantwortung der Fragestellungen in die qualitative Literaturübersicht einbezogen und anhand der PICOS Kriterien analysiert. Der Auswahlprozess ist in Abbildung 13 als Flussdiagramm dargestellt.

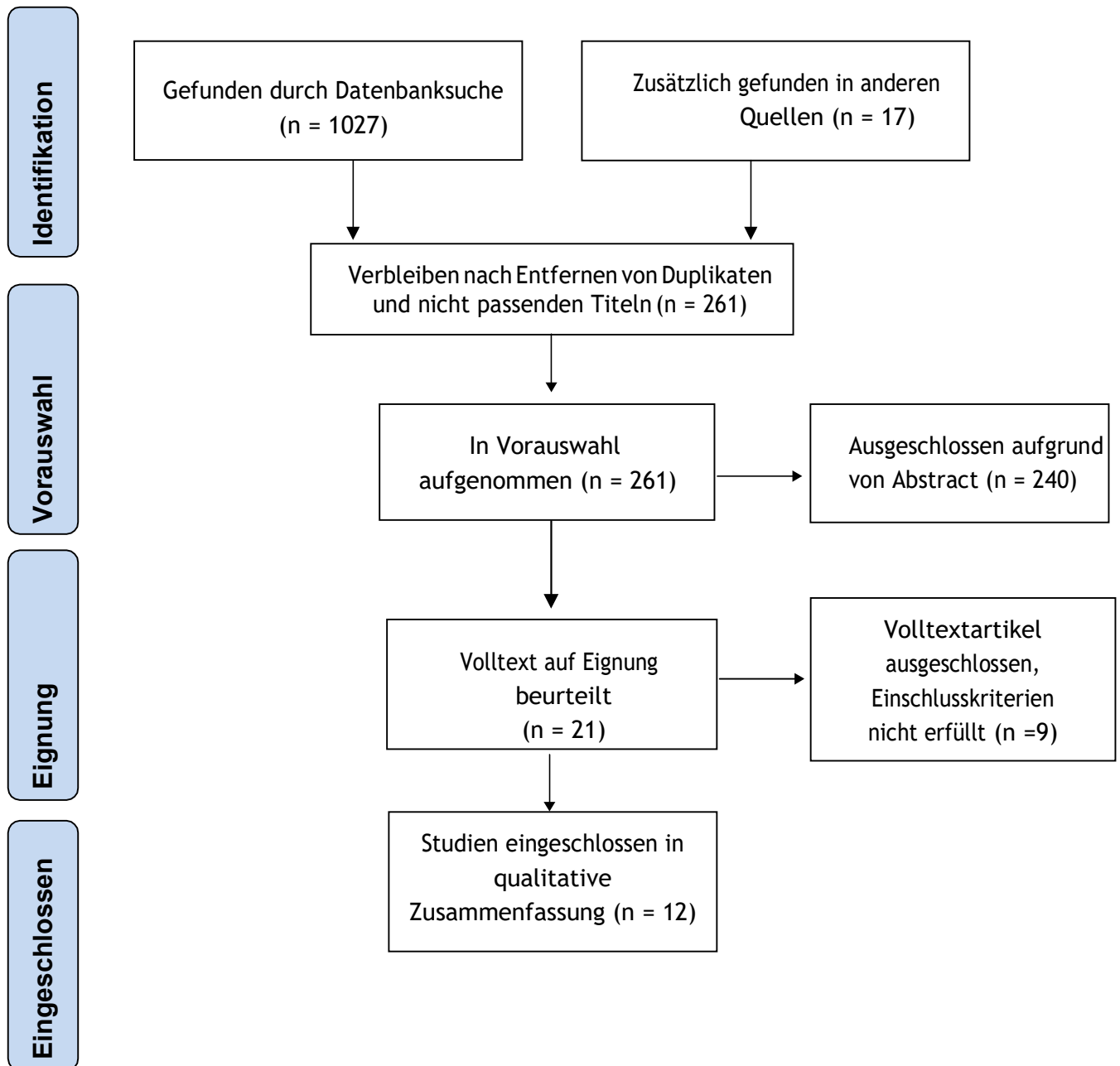


Abbildung 13: modifiziertes Flussdiagramm (Moher et al., 2009)

3.2 Studienmerkmale

In nachstehenden Unterkapiteln werden die Ergebnisse der inkludierten Studien anhand der PICOS- Kriterien erläutert.

Im Anschluss werden zusätzlich alle wichtigen Merkmale der einzelnen Studien in Tabellenform zusammengefasst.

Tabelle 9: Übersicht der Studien die akute Auswirkungen des Ganzkörpervibrationstrainings untersuchen

Übersicht der ausgewählten Studien							
Studie Journal	TeilnehmerInnen	Sportart	Vibrationsgerät f , Hz / A , mm/ a m/s ² / t , s	Intervention	Kontrollgruppe	Dauer akut: < 4 Wo	Messparameter
Cloak et. al. (2016a) <i>J Sports Sci Med</i> Randomized controlled trial (RCT)	n = 44 männlich Alter 23+/- 4	Fußball Profi, (n = 22) Erste Liga Amateur (n= 22)	Nemes-Bosco® vertikal sinusoid 40 Hz 8 mm (pp) 180 s	WBV + Kniebeuge (100° Kniewinkel) im Ballenstand	Aktive KG (Kniebeuge), Gerät aus	akut	PAP (post activation potentation), isometrisch MVC
Cloak et al. (2016b) <i>Eur J Sport Sci</i> RCT	n = 44 Männlich Alter 22 +/- 2	Fußball Profi (n = 22) Amateur (n= 22)	Nemes-Bosco® vertikal sinusoid 40 Hz +/- 4 mm 180 s	WBV + Kniebeuge (100° Kniewinkel) im Ballenstand	Aktive KG (Kniebeuge), Gerät aus	akut	DPSI (Dynamic Postural Stabilitiy Index), YBT (Ypsillon Balance Test)
Despina et al. (2014) <i>Hum Mov Sci</i> RCT	n = 11 weiblich Alter 18 +/- 1	Rhythmische Gymnastik, Elite (6 Tage Training pro Woche; 4 Std pro Tag), Olympia London	Galileo 900®, seitenalternierend 30 Hz, 2 mm, 71 m/s ² 75 s	WBV + Kniebeuge (exzentrisch und konzentrisch)	Aktive KG (Kniebeuge) (Gerät aus)	akut	- CMJ, SJ, single leg squat [cm] -Weight shift Balance [%] -Sit & Reach nach 1 und 15 min post [%]

Studie Journal	TeilnehmerInnen	Sportart	Vibrationsgerät f , Hz / A , mm/ a m/s ² / t , s	Intervention	Kontrollgruppe	Dauer akut: < 4 Wo	Messparameter
Kurt & Pekünlü (2015) <i>Biol Sport</i> RCT	n = 20 8 männlich 12 weiblich Alter 23 +/- 3	Kampfsport (Judo, Karate, Taekwondo und Muay Thai) Training 9 +/- 3 Std pro Woche & Wettkampf	Power Plate ® vertikal sinusoid 26 Hz 4 mm 240 s	WBV + a) Hände auf Plattform, b) squat (90° Kniewinkel), c) /d) Plankposition Ellbogen /Füße auf der Plattform	Aktive KG, selben Übungen Gerät aus, „Sham“	akut	- Hand grip strength test - SJ - Trunk flexion test - Isometric leg strength test
Naclerio et al. (2014) <i>J Strength Cond Res</i> RCT	n = 15 männlich Alter 20 +/- 1	Football (n = 8) Baseball (n = 7), Collegeathleten Start der Wettkampf- saison	Power Plate ® vertikal sinusoid 40 Hz, 1,96 mm (pp) 124 m/s ²	WBV + 80 % 1RM Kniebeuge	KGI: aktive Kontrolle KG2: passive Kontrolle	akut	- CMJ [W] - DJ [W]
Oliveira et al. (2018) <i>Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum</i>	n = 15 10 männlich 5 weiblich Alter 19 +/- 2	Taekwondo National	Planet Fitness, EN 004 Prof. vertikal sinusoid 26 Hz, 6 mm (pp) - 60 s	WBV + Kniebeuge (10° Kniewinkel)	KG: kein WBV	akut	- CMJ - Roundhouse Kick

Studie Journal	TeilnehmerInnen	Sportart	Vibrationsgerät f , Hz / A , mm/ a m/s ² / t , s	Intervention	Kontrollgruppe	Dauer akut: < 4 Wo	Messparameter
Padulo et al. (2014) <i>Int J Sports Med</i> RCT	n = 17 Männlich Alter 17 +/- 0,5 8 Stunden Training pro Woche, nationales Championship	Fußball National	Power Plate ® vertikal synchron 45 Hz 2,2 mm (pp) 176 m/s ² 45 s	WBV + Kniebeuge (90° Kniewinkel) im Ballenstand;	KG I: aktive Kontrolle (Lauf 1); KG II: aktive Kontrolle (Lauf 3)	akut	- 40 m shuttle run [s]
Rønnestad et al. (2016) <i>J Strength Cond Res</i> RCT	n = 15 männlich Alter 21 +/- 2	Eishockey Team, zweithöchster Level in Norwegen	Pneu-Vibe Pro vertikal synchron 50 +/- 2 Hz 3 mm 30 s	WBV + 15 halbe Kniebeugen	KG: aktive Kontrolle, 15 halbe Kniebeugen	akut	- 20 m Sprint [s] - „well being legs“
Rønnestad et al. (2018) <i>Scand J Med Sci Sports</i> RCT	N = 12 Männlich Alter 24 +/- 7	Radsport Training jährlich 653 +/- 83 Std., hoher Trainingsstatus	Pneu-Vibe Pro vertikal synchron 40 +/- 2 Hz 3 mm - 30 s	WBV + HIT	KG: HIT	akut	- EMG Aktivität - Beinpresse - VO _{2max} - HR _{max} - Laktat - RPE

A Amplitude, a Beschleunigung, KG Kontrollgruppe I oder II, CMJ countermovement jump, DJ drop jump, G Interventionsgruppe I oder II, f Frequenz. MVC maximal voluntary contraction, n Anzahl der TeilnehmerInnen, pp peak to peak amplitude, RM Repetitions Maximum, RPE Rate of perceived exertion, SJ squat jump t totale Expositionszeit, WBV whole body vibration

Tabelle 10: Übersicht der Studien die chronische Auswirkungen des Ganzkörpervibrationstrainings untersuchen

Studie Journal	TeilnehmerInnen	Sportart	Vibrationsgerät f , Hz / A , mm/ a m/s ² / t , s	Intervention	Kontrollgruppe	Dauer akut: < 4 Wo	Messparameter
Pérez-Turpin et al. (2014) <i>Biol Sport</i> RCT	n = 23 Männlich Alter 21 +/- 3	Volleyball (n = 12), Beachvolleyball (n = 11), Subelite Universitätsteam	Power Plate ® vertikal synchron 30 – 40 Hz 1,7 – 2,5 mm (pp) 30 – 60 s	WBV + traditionelles Krafttraining	KG: aktive Kontrolle - traditionelles Krafttraining	6 Wo 3 / Wo	- CMJ - SJ - 1 RM leg press - Disziplin
Suarez-Arrones et al. (2014) <i>Int J Sports Physiol Perform</i> RCT	n = 20 männlich Alter 27 +/- 2	Rugby Semi – Professionell, während der Saison; 3 Spiele in 6 Wo; 3-4 x Training/ Wo	Anfertigung: Firma VFsport, vertikal synchron 30 Hz 4 mm (pp) 142 m/s ²	WBV + shuttle run + Krafttraining	Aktive Kontrolle shuttle run Training	6 Wo; 1 / Wo	Explosive Kniebeuge mit Last [W]; 3 x 20 m wiederholter Sprint
Wang et al. (2014) <i>J Strength Cond Res</i> RCT	n = 21 männlich Alter 21 +/- 2	Sprint Nationale Wettkämpfe in den letzten 3 Jahren, 4 x pro Woche Training	Anfertigung Firma Magtonic, vertikal synchron 30 Hz 4 mm (pp) 142 m/s ² 30 s	G I: WBV + statische Kniebeuge (Kniewinkel 120°) +75% MVC Krafttraining, G II: WBV + Kniebeuge (120°)	Aktive Kontrolle 75% MVC Krafttraining	4 Wo; 3 / Wo	30 m Speed [m/s]; isometrisch MVC [Nm/kg]; Exzentrisch MVC [Nm/kg] konzentrisch MVC [Nm/kg]

A Amplitude, a Beschleunigung, KG Kontrollgruppe I oder II, CMJ countermovement jump, DJ drop jump, G Interventionsgruppe I oder II, f Frequenz, MVC maximal voluntary contraction, n Anzahl der TeilnehmerInnen, pp peak to peak amplitude, RM Repetitions Maximum, RPE Rate of perceived exertion, SJ squat jump t totale Expositionszeit, WBV whole body vibration

3.2.1 StudienteilnehmerInnen (participants)

In den vorliegenden 12 Studien wurden 257 TeilnehmerInnen untersucht. Dabei konzentrierten sich neun Studien (Cloak et al., 2016a; Cloak et al., 2016b; Naclerio et al., 2014; Padulo et al., 2014, Pérez-Turpin, 2016; Rønnestad et al., 2016; Rønnestad et al., 2018; Suarez-Arrones et al., 2014; Wang et al., 2014) ausschließlich auf männliche Athleten und eine Studie ausschließlich auf weibliche Athletinnen (Despina et al., 2014). Die weiteren zwei Studien (Kurt & Pekünlü, 2015; Oliveira et al. 2018) untersuchten männliche und weibliche SportlerInnen. Das Alter der in die Studien eingeschlossenen AthletInnen variierte zwischen 16 und 31 Jahren.

Es waren acht unterschiedliche Sportarten vertreten. Am häufigsten kam die Sportart Fußball mit drei Studien (Cloak et al., 2016a; Cloak et al., 2016b; Padulo et al., 2014) in den Untersuchungen vor. Mit Kampfsport beschäftigten sich zwei der inkludierten Arbeiten (Kurt & Pekünlü, 2015; Oliveira et al. 2018). Die Gruppe um Naclerio et al. (2014) beschäftigte sich sowohl mit Baseball- als auch mit Footballspielern, während Pérez-Turpin et al. (2016) Volleyball – und Beachvolleyballer untersuchte. Jeweils eine Studie bezog sich auf Rhythmische Gymnastik (Despina, 2014), Eishockey (Rønnestad et al., 2016), Radsport (Rønnestad et al., 2018), Rugby (Suarez-Arrones et al., 2014) sowie den leichtathletischen Sprint (Wang et al., 2014).

3.2.2 Interventionen (interventions)

Tabelle 9 und 10 liefern einen Überblick über die für die Literaturübersicht ausgewählten Studien. Je nach Studie wurden unterschiedliche Interventionen durchgeführt.

Neun der Studien (Cloak et. al., 2016a; Cloak et al. 2016b; Despina et al., 2014; Kurt & Pekünlü, 2015; Naclerio et al., 2014; Oliveira, 2018; Padulo et al. 2014; Rønnestad et al., 2016; Rønnestad et al., 2018) untersuchten akute Effekte des Ganzkörpervibrationstrainings und wurden durch 14 Sportarten repräsentiert, während drei Arbeiten (Pérez-Turpin et al., 2014, Suarez-Arrones et al., 2014; Wang et al., 2014) sich auf die chronischen Auswirkungen des Trainings vor vier unterschiedlichen Sportarten fokussierten.

Die akuten und chronischen Studien verwendeten bei der Geräteeinstellung ähnliche Vibrationstrainingsfrequenzen (zwischen 26 bis 50 Hz), Amplituden (1,96 bis 8 mm) und Beschleunigungen (71 bis 176 m/s²). Die Expositionszeit der ProbandInnen lag bei den akuten Studien zwischen 30 und 240 Sekunden (Durchschnitt 108,75 s). Bei den chronischen Studien lag sie zwischen 30 und 142 Sekunden (Durchschnitt 114,66 s). Einschränkend muss hinzugefügt werden, dass nicht für alle Studien die vollständigen Gerätedaten verfügbar waren.

In den Studien von Cloak et al. (2016a), sowie Cloak et al. (2016b) wurde die Leistungsfähigkeit von Amateur- und Profi-Fußballern verglichen. Alle Teilnehmer starteten das Trainingsprotokoll am Fahrradergometer mit einem 10-minütigen Einfahren bei 65 – 85% der altersgemäßen maximalen Herzfrequenz. Nach den 10 Minuten ging die Interventionsgruppe auf der Vibrationsplatte in eine 100° Kniebeuge (verifiziert durch Messung mit einem klinischen Goniometer), dabei hoben die Fußballer die Fersen an und lehnten den Oberkörper leicht nach vor, um die Vibrationswirkung zu maximieren. Schließlich wurden drei Durchgänge à 60 Sekunden (Bullock, Martin, Ross, Rosemond, Jordan, Marino; 2008) in der Position, bei einer Frequenz von 40 Hz und einer Amplitude von + / - 4 mm (bzw. 8 mm pp), trainiert. Zwischen den Sätzen lag eine Pause von jeweils 30 Sekunden. Die Kontrollgruppe absolvierte dasselbe Aufwärmprogramm und nahm anschließend auf der Plattform die Squat – Position ein. Im Anschluss an das Vibrationstraining absolvierten die Athleten den „Dynamic Postural Stability Index“ (DPSI) und Y Balance Test (Cloak et al., 2016b) bzw. PAP (Post Activation Potentiation), die maximale isometrische Kniekraft (MVC) und Muskelaktivität der Kniestrecker, sowie eine Befragung zur Selbsteinschätzung des Nutzens der Intervention (Cloak et al., 2016a).

Die von Despina et al. (2014) untersuchten Eliteturnerinnen führten an einem Tag das Versuchsprotokoll mit und an einem weiteren Tag ohne Ganzkörpervibration durch. Es wurden fünf unterschiedliche Übungen über einem Zeitraum von jeweils 15 Sekunden bei einer Frequenz von 30 Hz (Amplitude 2 mm) ausgeführt. Vor dem Start der Intervention (Prä), unmittelbar nach Beendigung des Trainings (Post 1) und 15 Minuten (Post 15) nach Ende des Protokolls wurden eine Reihe standardisierter Tests durchgeführt, um ausgewählte Parameter (Posturale Kontrolle, Beweglichkeit, Explosivkraft/ Schnellkraft) für die statistische Auswertung zu erheben. Die Teilnehmerinnen waren mit den Tests vertraut und wurden instruiert, alle Tests bei maximaler Intensität auszuführen. Die maximale Testdauer lag bei sieben Minuten.

Kurt & Pekünlü (2015) führten wie Despina et al. (2014) eine Reihe von Tests vor und nach dem Versuchsprotokoll durch. Nach einem Einführungstag, an dem die Basisdaten für die vier Tests erhoben wurden, trainierte die Interventionsgruppe an zwei Tagen einmal mit eingeschaltetem Gerät und einmal bei ausgeschalteter Vibrationsplattform (Kontrollgruppe, „Sham“). Zwischen den Versuchen lagen 48 Stunden. Vor dem Training auf der Plattform wärmten sich alle AthletInnen für sechs Minuten auf einem Fahrradergometer (60 – 80 rpm, 50 Watt) auf. Die KampfsportlerInnen führten vier isometrische Übungen, davon eine stehend, auf der Vibrationsplattform (26 Hz, 4 mm) durch (siehe Abbildung). Bei den Übungen wurden keine Schuhe getragen. Im Anschluss an das jeweilige Training wurden die abhängigen Daten wieder mittels der vier Tests erhoben (siehe Tabelle 9).

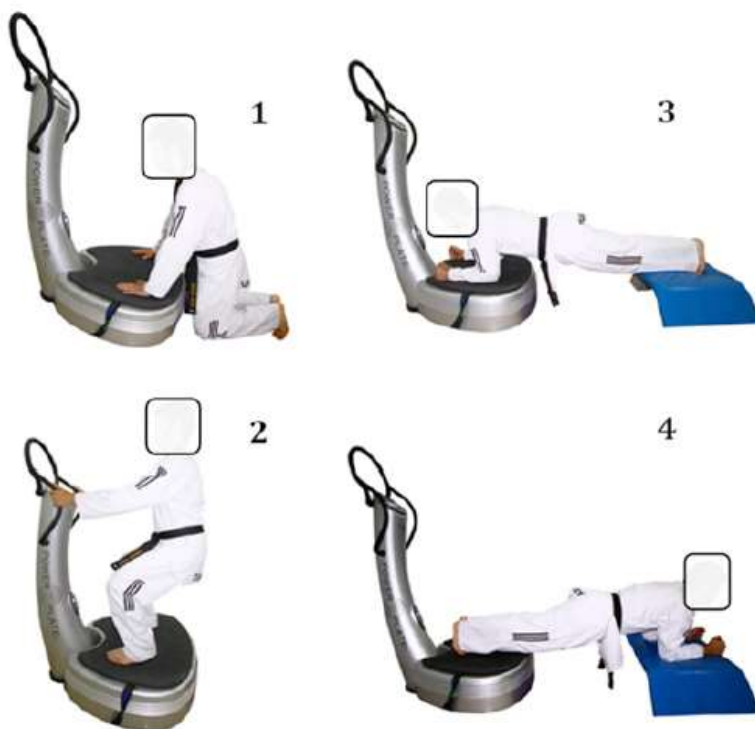


Abbildung 14: Isometrische Übungen der Studie (Kurt & Pekünlü, 2015)

In der Studie von Naclerio et al. (2014), führten alle Teilnehmer drei Hauptprotokolle durch. Beim ersten Protokoll wurden Kniebeugen mit dem 80% 1 RM auf der eingeschalteten Plattform durchgeführt (40 Hz, 1,96 mm). Die erste Kontrollgruppe führte dasselbe Protokoll bei abgeschaltetem Gerät durch, während die zweite Kontrollgruppe eine stationäre Position über dieselbe Dauer der ersten beiden Protokolle einnahm. Bei den ersten beiden Protokollen wurde ein nieder- und hochvolumiges Krafttraining auf der Plattform durchgeführt.

Das Protokoll mit dem geringeren Umfang beinhaltete einen Satz mit drei Wiederholungen und das mit höherem Umfang drei Sätze mit drei Wiederholungen und zwei Minuten Satzpause. Zusätzlich wurden alle Messungen nach einer Pause von einer oder vier Minuten vorgenommen (siehe Tabelle 11) (Naclerio et al., 2014). Zwischen den Testtagen lagen mindestens 48 bis 72 Stunden. Es wurde ein standardisiertes Aufwärmprogramm durchgeführt. Zu Beginn und am Ende der Studie wurden die Probanden den Tests zur Messung der Sprungkraft unterzogen.

Tabelle 11: Übersicht der Studienprotokolle (Naclerio et al., 2014)

Conditions	Volume	Rest period (min)
NV-PS	High	1
		4
	Low	1
		4
WBV-PS	High	1
		4
	Low	1
		4
C	High	1
		4
	Low	1
		4

*NV-PS = parallel squat without vibration; WBV-PS = parallel squat onto a whole body vibration platform; C = control.

Oliveira et al. (2018) vergleichen in ihrer Studie die Leistung von KampfsportlerInnen bei CMJ und Roundhouskick vor und nachdem die AthletInnen eine Minute auf einer Vibrationsplattform (26 Hz, 6 mm) mit einem Kniewinkel von 10° eine isometrische Körperposition gehalten hatten. Die Tests wurden im Abstand von 24 Stunden ohne Aufwärmprogramm durchgeführt.

Die Studie von Padulo et al. (2014) untersuchte die Sprintfähigkeit von Fußballspielern an drei verschiedenen Tagen mittels „Shuttle Run Test“. Der „Shuttle Run“ ging sechsmal über 40 Meter Sprint (20m + 20m) bei einer Pause von jeweils 20 Sekunden zwischen den Läufen.

Am ersten und dritten Testtag wurden mit den Probanden die „Shuttle RunTests“ durchgeführt (aktive Kontrolle I und II), während am zweiten Tag die Intervention in den Pausen der Läufe stattfand.

Bei der Intervention standen die Athleten in der Pause im Ballenstand auf der Plattform bei einem Kniewinkel von 90 ° (45 Hz, 2,2 mm). In den Kontrollgruppen nahmen die Probanden bei abgeschaltetem Gerät dieselbe Position ein. Um die Athleten nicht zu überfordern wurde am zweiten Testtag zwischen Vibrationstraining und passiver Pause abgewechselt. Die einzelnen Sprintzeiten wurden gemessen und für die statistische Auswertung herangezogen. Die Fußballer wurden durch ein spezifisches Laufprogramm auf die folgenden Versuche vorbereitet (Padulo et al. 2014).

Die VolleyballerInnen in der Studie von Pérez-Turpin et al. (2014) wurden in zwei Gruppen geteilt und absolvierten dreimal pro Woche über eine Stunde ein sechswöchiges Krafttrainingsprogramm. Die vier Übungen für die unteren Extremitäten der beiden Gruppen waren bezüglich Zeitdauer, Satzzahl, Pausenzeiten und Instruktionen aufeinander abgestimmt. Eine Gruppe arbeitete auf dem Vibrationsgerät (30-40 Hz, 1,7-2,5 mm), während die zweite Gruppe (Kontrolle) klassisches Krafttraining absolvierte. 24 Stunden vor und nach dem Trainingsprogramm wurden, nach einem standardisierten Aufwärmprogramm, Squat Jump, Countermovement Jump und das 1 RM an der Beinpresse gemessen.

Rønnestad et al. (2016) untersuchte in seiner Studie die 10 und 20 m Sprintzeiten von Eishockeyspielern. Die Teilnehmer wurden dafür in zwei Gruppen geteilt und unterzogen sich insgesamt vier Tests. Zwischen den Tests lag eine Pause von 48 Stunden. Vor den Sprints wurde ein standardisiertes Aufwärmprogramm von insgesamt 20 Minuten (10 + 10 min) absolviert. Der zweite Teil des Aufwärmens fand in voller Montur auf der Eisfläche statt. Eine Minute nach dem Aufwärmen wurde von beiden Gruppen 15 halbe Kniebeugen auf der Vibrationsplattform durchgeführt, einmal ohne (Kontrollgruppe) und einmal mit, eingeschaltetem Vibrationsgerät (50 Hz, 3mm). Die Eishockeyspieler standen jeweils für 30 Sekunden mit den Eislaufschuhen auf der, durch eine Plexiglasplatte geschützten, Plattform. Nach Ende des Trainings wurden die Sprintzeiten gemessen. Um Schwankungen in der Tagesform auszuschließen, wurden die jeweils bessere von zwei Messungen für die statistische Analyse herangezogen.

Die Reihenfolge war randomisiert und die Probanden waren hinsichtlich ihrer Sprintzeiten geblendet. Eine zusammenfassende Abbildung stellt die Vorgehensweise von Rønnestad et al. (2016) grafisch dar (Abbildung 15):

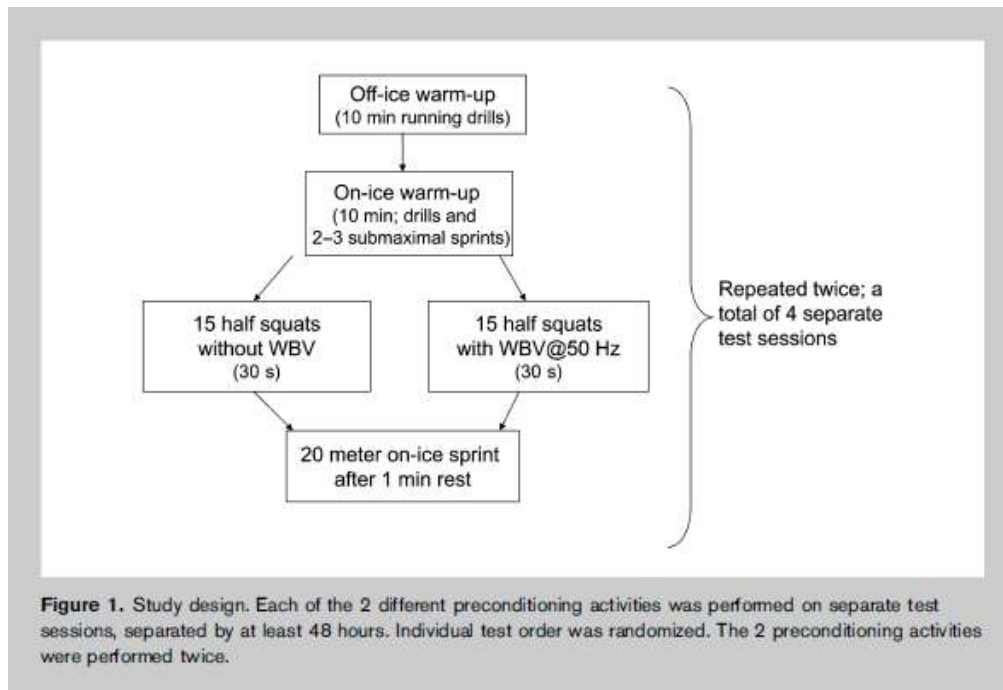


Abbildung 15: Übersicht der Intervention (Rønnestad et al. 2016)

Die akuten Auswirkungen von Vibrationstraining auf die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}), Spitzenherzfrequenz (HR_{peak}), Elektromyografie (EMG) sowie durchschnittliche Schnellkraft bei Radfahrern, die ein High Intensity Intervalltraining (HIT) mit Vibration absolvierten, wurde von Rønnestad et al. (2018) mit traditionellem HIT Training ohne Vibration (Kontrollgruppe) verglichen. Die Versuchsreihenfolge wurde randomisiert und die Radfahrer mussten ein HIT Training von 6 x 5 Minuten durchführen. Zwischen den Belastungsphasen, in denen mit höchstmöglicher Durchschnittsleistung gefahren wurde, lagen Pausen von 2,5 Minuten. Fünf Sekunden vor Beginn der Pause wurde in der Vibrationsgruppe die Schwingung appliziert (40 Hz, 3 mm). Vor Durchführung des Versuchsprotokolls wurden Vortests (VO_{2max} , HR_{max}) und Messungen (EMG, Blutlaktat, Rate of Perceived Exertion (RPE)) durchgeführt und die Teilnehmer an das Radfahren mit Vibration gewöhnt. Vor und nach jedem Versuch wurde die „Peak lower body power“ mittels Beinpresse ermittelt (Rønnestad et al. 2018).

In der Studie von Suarez-Arrones et al. (2014) wurden die Teilnehmer in zwei Gruppen geteilt. Beide Gruppen trainierten 6 Wochen lang zweimal die Woche zusätzlich zum normalen Rugbytraining.

Die Interventionsgruppe absolvierte am Dienstag ein „repeated sprint Training“ (RST) und am Donnerstag ein Krafttraining, bestehend aus explosiven Kniebeugen mit einer Zusatzlast, auf der Vibrationsplattform (30 Hz, 4 mm). Die Kontrollgruppe absolvierte sowohl dienstags als auch donnerstags das RST. Dieses bestand aus drei Blöcken mit einer passiven Pause von 4 Minuten nach jedem Block. Ein Block beinhaltete sechs Wiederholungen eines 40 m „shuttle run“ sprint (20 + 20 m) mit einer passiven Pause von 20 Sekunden zwischen den Sätzen. Ähnlich bestand auch das Training der Interventionsgruppe aus 3 Blöcken. Jeder dieser Blöcke beinhaltete 6 Sätze à 6 Wiederholungen explosiver Kniebeugen. Vor jedem Training wurde je nach Gruppe ein spezifisches Aufwärmen durchgeführt (Suarez-Arrones et al., 2014).

Wang et al. (2014) unterzogen in ihrem Versuch 21 Sprinter in der Vorsaison einem 4wöchigen Trainingsprogramm. Die Athleten wurden per Zufall in drei Gruppen geteilt.

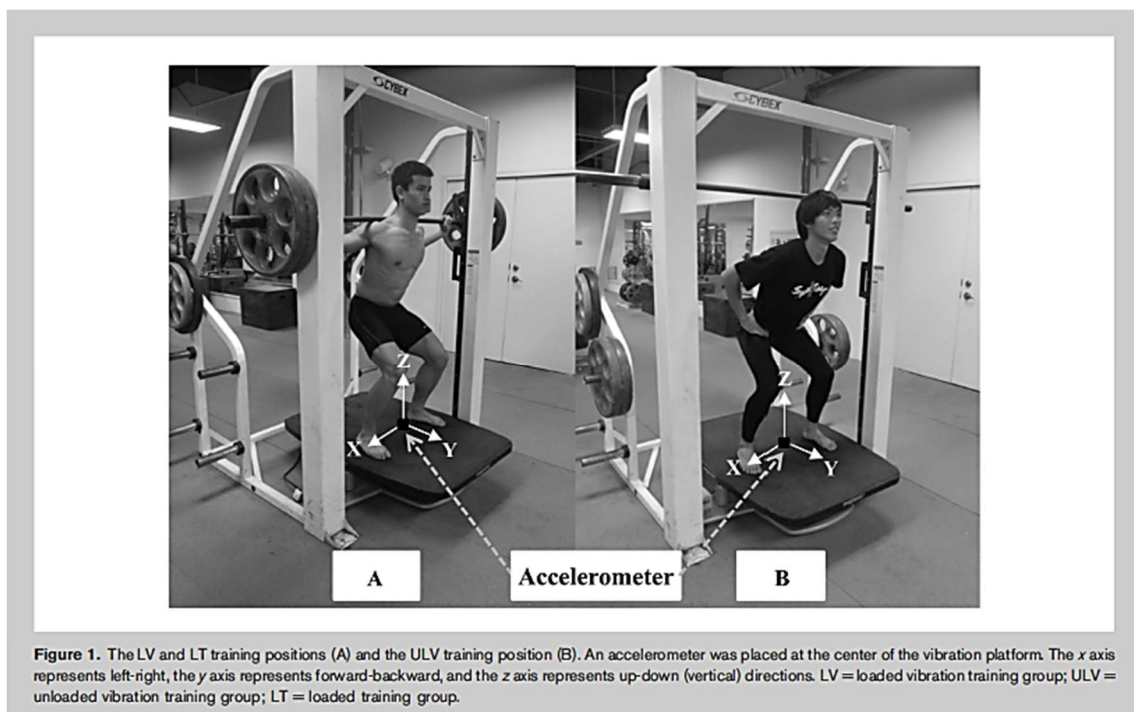


Abbildung 16: Trainingspositionen auf der Vibrationsplattform (Wang et al., 2014)

Eine Trainingsgruppe mit Zusatzlast auf der Vibrationsplattform, eine zweite Gruppe ohne Zusatzlast in der statischen Kniebeuge (120°) bei Schwingungsexposition (30 Hz, 4mm) sowie eine dritte Gruppe, die ohne Vibration das Krafttraining in der statischen Kniebeuge durchführte (siehe Abbildung 16 und Tabelle 12).

Die Zusatzlast für die beiden Gruppen wurde gemäß Studie aus dem 75 % MVC berechnet. Zwei Tage vor und nach dem Training wurden die Sprint Tests, nach einem standardisierten Aufwärmen durchgeführt (Wang et al., 2014).

Group	Frequency (Hz)	Amplitude (mm)	Extra load (%)	Movement
LV	30	4	75 MVC	Static squats (knee 120°)
ULV	30	4		Static squats (knee 120°)
LT			75 MVC	Static squats (knee 120°)

*LV = loaded vibration training group; LT = Loaded training group; MVC = maximum voluntary contraction; ULV = unloaded vibration training group.

Tabelle 12: Trainingsprotokolle der drei Gruppen (Wang et al., 2014)

3.2.3 Kontrollgruppen (control – group)

Im Sinne der besseren Lesbarkeit und Verständlichkeit dieser Übersichtsarbeit sind die Aktivitäten der Kontrollgruppen bereits unter Punkt 3.2.2 gemeinsam mit den Interventionen (interventions) beschrieben worden.

3.2.4 Studienendpunkte (outcomes)

Die Studienendpunkte bezogen sich allesamt auf potenzielle positive und gegebenenfalls negative Auswirkungen des Ganzkörpervibrationstrainings auf die Leistungsfähigkeit bzw. repräsentative Parameter für die Leistungsfähigkeit bei Spitzen- und LeistungssportlerInnen unterschiedlicher Sportarten.

Kurzfristige Effekte wurden in den Studien unmittelbar nach oder kurz nach dem Vibrationstraining gemessen. Akute Auswirkungen wurden in neun Studien gemessen (Cloak et. al., 2016a; Cloak et al. 2016b; Despina et al., 2014; Kurt & Pekünlü, 2015;

Naclerio et al., 2014; Oliveira, 2018; Padulo et al. 2014; Rønnestad et al.; 2016; Rønnestad et al., 2018) (Tabelle 9) und machen somit den Großteil dieser Literaturübersicht aus. Langfristige oder chronische Effekte wurden in Studien mit einer minimalen Studiendauer ab vier Wochen untersucht. Diese beschränkten sich auf drei Arbeiten (Pérez-Turpin et al., 2014, Suarez-Arrones et al., 2014; Wang et al., 2014) (Tabelle 10).

Für diesen Review wurden vor allem akute und chronische Auswirkungen auf die Maximalkraft, Schnellkraft, Beweglichkeit, Gleichgewicht sowie die athletische Leistungsfähigkeit (Sprintzeiten) in der Auswertung berücksichtigt. Die Messungen der einzelnen Parameter werden in den einzelnen Arbeiten zum Teil sehr detailliert beschrieben und würden den Rahmen dieser Literaturübersicht überschreiten.

3.2.5 Studiendesign (study – design)

Bei den eingeschlossenen 12 Arbeiten handelt es sich um randomisiert kontrollierte Studien (Randomized Controlled Trials, RCTs). Alle Studien sind zwischen dem Zeitraum 2014 bis 2019 und in englischer Sprach erschienen.

Die 12 Forschungsarbeiten wurden in 8 verschiedenen Ländern durchgeführt. Drei Studien wurden in Großbritannien fertiggestellt (Cloak et al., 2016a, Cloak et al., 2016b & Naclerio et al. 2014). Bei zwei Studien waren die SportlerInnen aus Spanien (Pérez-Turpin et al., 2014, Suarez-Arrones et al., 2014), bei zwei aus Norwegen, sowie bei jeweils einer aus Griechenland (Despina et al., 2014), der Türkei (Kurt & Pekünlü, 2015), Taiwan (Wang et al., 2014), Italien (Padulo et al., 2014) und Brasilien (Oliveira et al., 2018).

3.3 Risiko der Verzerrung

Das Verzerrungspotential dieses Reviews wurde anhand der „Physiotherapy Evidence Database (PEDro)“ Skala quantifiziert, um die Qualität der ausgewählten Studien zu beurteilen. Tabelle 13 illustriert die Validität der akuten und chronischen Studien.

Die PEDro Skala stellt fest, welche Studien wahrscheinlich intern valide sind und ausreichend statistische Informationen beinhalten. Dies wird mit Hilfe verschiedener Kriterien (A bis K) hinterfragt, die mit jeweils einem Punkt bewertet werden können. Kriterium A bezieht sich auf die externe Validität der Studien und wird zur Berechnung der PEDro-Punktezah nicht herangezogen. Die Skala reicht von 0 bis 10, wobei 6 Punkte den Mindestwert für qualitativ hochwertige Studien darstellt (Maher et al., 2003).

Fünf der akuten (Cloak et al., 2016a; Cloak et al., 2016b; Despina et al., 2014; Oliveira et al., 2018; Rønnestad et al., 2016) und zwei der chronischen Studien (Pérez-Turpin et al., 2014; Wang et al., 2014), also insgesamt 7 der 12 Studien konnten diesen geforderten Mindestwert erreichen. Die durchschnittlich erreichte Punktezah lag bei den akuten Studien bei 5,7 Punkten und bei den chronischen Studien bei 5 Punkten. Bei den chronischen Studien wurden insgesamt zwischen 4 und 7 Punkten vergeben, bei den akuten lag dieser Bereich zwischen 3 und 6 Punkten. Der Maximalwert von 10 Punkten konnte von keiner der 12 inkludierten Studien erreicht werden.

Tabelle 13: Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Skala der inkludierten Studien

Akute Studien	Qualitätskriterien											Gesamtpunkte
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
Cloak et. al. (2016a)	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	7
Cloak et. al. (2016b)	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	6
Despina et al. (2014)	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	6
Kurt & Pekünlü (2015)	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	5
Naclerio et al. (2014)	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	5
Oliveira et al. (2018)	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	6
Padulo et al. (2014)	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	5
Rønnestad et al. (2016)	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+	7
Rønnestad et al. (2018)	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	4

Chronische Studien	Qualitätskriterien											Gesamtpunkte
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
Pérez-Turpin et al. (2014)	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	6
Suarez-Arrones et al. (2014)	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	3
Wang et al. (2014)	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	6

A Wurden die Ein- und Ausschlusskriterien spezifiziert? **B** Wurden die Probanden den Gruppen randomisiert zugeordnet? **C** Erfolgte die Zuordnung zu den Gruppen verborgen? **D** Waren die Gruppen zu Beginn der Studie bezgl. der wichtigsten prognostischen Indikatoren einander ähnlich? **E** Waren alle Probanden geblindet? **F** Waren alle TherapeutInnen die eine Therapie durchgeführt haben geblindet? **G** Waren UntersucherInnen, die zumindest ein zentrales Outcome gemessen haben, geblindet? **H** Wurde von mehr als 85% der ursprünglich den Gruppen zugeordneten ProbandInnen zumindest ein zentrales Outcome gemessen? **I** Haben alle ProbandInnen, für die Ergebnismessungen zur Verfügung standen die Behandlung oder Kontrollanwendung bekommen wie zugeordnet, oder, falls nicht, wurden die Daten für zumindest ein zentrales Outcome durch eine „intention to treat“ Methode analysiert? **J** Wurden für mindestens ein zentrales Outcome die Ergebnisse der Gruppenvergleiche berichtet? **K** Berichtet die Studie sowohl Punkt- als auch Streuungsmaße für zumindest ein zentrales Outcome?

3.4 Ergebnisse der einzelnen Studien

Insgesamt wurden 12 Studien hinsichtlich der Auswirkung von akutem und chronischem Ganzkörpervibrationstraining auf unterschiedliche Parameter (Kraft, Schnellkraft, Gleichgewichtsfähigkeit, Flexibilität und Sprintzeit) bei Leistungs- und SpitzensportlerInnen, analysiert (Cloak et al., 2016a; Cloak et al., 2016b; Despina et al., 2014; Kurt & Pekünlü, 2015; Naclerio et al., 2014; Oliveira et al., 2018; Padulo et al., 2014, Pérez-Turpin, 2016; Rønnestad et al., 2016; Rønnestad et al., 2018; Suarez-Arrones et al., 2014; Wang et al., 2014). Die Charakteristika der einzelnen Studien sind in Tabelle 9 und 10 bereits ausführlich beschrieben worden.

Die Interventionen wurden, bis auf eine Studie (Oliveira et al., 2018), durchgehend auf der Vibrationsplattform stehend durchgeführt. In der Studie von Oliveira et al. (2018) wurde die Plankposition eingenommen, sowie bei einer weiteren Übung die Hände der SportlerInnen auf die Plattform gelegt.

Tendenziell fielen die Ergebnisse eher positiv aus. Um die anschließende Analyse der Ergebnisse und Vergleiche zwischen einzelnen Studien zu erleichtern wurden die Resultate in Tabellenform gebracht (siehe Tabellen 14 bis 20). Die jeweiligen Interventionen bzw. Trainingsprogramme der Arbeiten wurden bereits in Kapitel 3.2.2 beschrieben.

Tabelle 14: Akute Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Kraft von Spitzen- und LeistungssportlerInnen

Studie	Vibrationstyp	ProbandInnen	Gruppe	Training	Messung	Veränderung
Cloak et. al. (2016a)	Nemes-Bosco® vertikal sinusoid 40 Hz 8 mm (pp) 180 s	11 Profi-Fußballer	WBV	Kniebeuge (100° Kniewinkel) im Ballenstand	Isometrische Kraft Quadrizeps	+10,6% signifikant
		11 Profi-Fußballer	Kontrolle	Aktive KG (Kniebeuge), Gerät aus		
		11 Amateur- Fußballer	WBV	Kniebeuge (100° Kniewinkel) im Ballenstand	Isometrische Kraft Quadrizeps	-3,8%
		11 Amateur- Fußballer	Kontrolle	Aktive KG (Kniebeuge), Gerät aus		
Kurt & Pekünlü (2015)	Power Plate ® vertikal sinusoid 26 Hz 4 mm 240 s	20 Kampfsportler- Innen	WBV	Hände auf der Plattform	Handgriffkraft	+2,5% signifikant
			Kontrolle	Hände auf der Plattform, Gerät aus		
			WBV	- Kniebeuge 90° - Plankposition Ellbogen /Füße auf der Plattform	- SJ - Trunk flexion test - Isometrische Beinkraft	Kein Effekt
			Kontrolle	w.o., Gerät aus		Kein Effekt
Rønnestad et al. (2018)	Pneu-Vibe Pro vertikal synchron 40 +/- 2 Hz 3 mm - 30 s	12 Radsportler (10 beendet)	WBV	HIT	- Dynamische Beinkraft	- signifikant höhere durchschnittliche EMG Aktivität des M. vastus lateralis - Beinpresse kein Effekt
			Kontrolle	HIT		

Tabelle 15: Akute Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Schnellkraft von Spitzen- und LeistungssportlerInnen

Studie	Vibrationstyp	ProbandInnen	Gruppe	Training	Messung	Veränderung
Despina et al. (2014)	Galileo 900®, seitenalternierend 30 Hz, 2 mm, 71 m/s ² 75 s	11 Rhythmische Gymnastinnen	WBV	Kniebeuge (exzentrisch und konzentrisch)	SJ (Squat Jump) Pre, P 1, P 15 min	+9,5 % signifikant
			Kontrolle	Aktive KG (Kniebeuge) (Gerät aus)	SJ (Squat Jump) Pre, P 1, P 15 min	
			WBV	Kniebeuge (exzentrisch und konzentrisch)	CMJ (Counter Movement Jump) Pre, P 1, P 15 min	+5,0% signifikant
			Kontrolle	Aktive KG (Kniebeuge) (Gerät aus)	CMJ (Counter Movement Jump) Pre, P 1, P 15 min	- 0,7%
Naclerio et al. (2014)	Power Plate ® vertikal sinusoid 40 Hz, 1,96 mm (pp) 124 m/s ²	15 Football- und Baseballspieler	WBV + Krafttraining 80 % 1 RM jeweils high / low volume	Krafttraining 1 Minute Pause	DJ	- signifikant (high und low volume)
				Krafttraining 4 Minuten Pause	CMJ	+ signifikant (low volume)
					DJ	Gleichbleibend (high und low)
			Kontrolle I: Krafttraining 80% 1 RM jeweils high /low volume	Krafttraining 1 Minute Pause	CMJ	
				Krafttraining 4 Minuten Pause	CMJ	+ signifikant (low volume)
			Kontrolle II jeweils high / low volume Isometrisches Krafttraining	Krafttraining 1 Minute Pause	CMJ	
				Krafttraining 4 Minuten Pause	CMJ	+ signifikant (low volume)

Studie	Vibrationstyp	ProbandInnen	Gruppe	Training	Messung	Veränderung
Oliveira et al. (2018)	Planet Fitness, EN 004 Prof. vertikal sinusoid 26 Hz, 6 mm (pp)	15 Kampfsportler- Innen (Taekwondo)	WBV	Kniebeuge (10° Kniewinkel)	- CMJ - Roundhouse Kick	kein signifikanter Effekt
			Kontrolle	Kein Training		

Tabelle 16: Akute Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Gleichgewichtsfähigkeit von Spitzen- und LeistungssportlerInnen

Studie	Vibrationstyp	ProbandInnen	Gruppe	Training	Messung	Veränderung
Cloak et al. (2016b)	Nemes-Bosco® vertikal sinusoid 40 Hz +/- 4 mm 180 s	11 Profi-Fußballer	WBV	Kniebeuge (100° Kniewinkel) im Ballenstand	DPSI (Dynamic Postural Stability Index)	-7,9% Signifikant
		11 Profi-Fußballer	Kontrolle	Aktive KG (Kniebeuge), Gerät aus		
		11 Amateur- Fußballer	WBV	Kniebeuge (100° Kniewinkel) im Ballenstand	DPSI	+2,8%
		11 Amateur- Fußballer	Kontrolle	Aktive KG (Kniebeuge), Gerät aus		
Despina et al. (2014)	Galileo 900®, seitenalternierend 30 Hz, 2 mm, 71 m/s ² 75 s	11 Rhythmische Gymnastinnen	WBV	Kniebeuge (exzentrisch und konzentrisch)	RWS (Rhythmic Weight Shift) - Test Pre, Post 1, Post 15 min	Post 15 min signifikant höher
			Kontrolle	Aktive KG (Kniebeuge) (Gerät aus)	RWS - Test Pre, P 1, P 15 min	
			WBV	Kniebeuge (exzentrisch und konzentrisch)	LOS (Limits of Stability) End Point Excursion Test, LOSEPE Pre, P 1, P 15 min	
			Kontrolle	Aktive KG (Kniebeuge) (Gerät aus)	LOSEPE Pre, P 1, P 15 min	Post 1 und 15 min signifikant niedriger als WBV

Studie	Vibrationstyp	ProbandInnen	Gruppe	Training	Messung	Veränderung
Despina et al. (2014)	Galileo 900®, seitenalternierend 30 Hz, 2 mm, 71 m/s ² 75 s	11 Rhythmische Gymnastinnen	WBV	Kniebeuge (exzentrisch und konzentrisch)	LOS (Limits of Stability) Maximum Excursion in Backward direction Pre, P 1, P 15 min	Post 15 min signifikant höher
			Kontrolle	Aktive KG (Kniebeuge) (Gerät aus)	LOSMXE B Pre, P 1, P 15 min	

Tabelle 17: Akute Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Beweglichkeit von Spitzen- und LeistungssportlerInnen

Studie	Vibrationstyp	ProbandInnen	Gruppe	Training	Messung	Veränderung
Despina et al. (2014)	Galileo 900®, seitenalternierend 30 Hz, 2 mm, 71 m/s ² 75 s	11 Rhythmische Gymnastinnen	WBV	Kniebeuge (exzentrisch und konzentrisch)	Sit & Reach Pre, P 1, P 15 min	Signifikant höher für P 1 und P 15
			Kontrolle	Aktive KG (Kniebeuge) (Gerät aus)	Sit & Reach Pre, P 1, P 15 min	

Tabelle 18: Akute Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Geschwindigkeit von Spitzen- und LeistungssportlerInnen

Studie	Vibrationstyp	ProbandInnen	Gruppe	Training	Messung	Veränderung
Padulo et al. (2014)	Power Plate ® vertikal synchron 45 Hz 2,2 mm (pp) 176 m/s ² 45 s	17 Fußballer	WBV	Kniebeuge (90° Kniewinkel) im Ballenstand während der Laufpause	-RSA (Repeated Sprint Ability) -Shuttle run	Leistungsvariablen verbessern sich
			Kontrolle I	aktive Kontrolle (Lauf 1)		Keine Effekte
			Kontrolle II	aktive Kontrolle (Lauf 3)		Keine Effekte
Rønnestad et al. (2016)	Pneu-Vibe Pro vertikal synchron 50 +/- 2 Hz 3 mm 30 s	15 Eishockeyspieler	WBV	15 halbe Kniebeugen	10 und 20 m Sprint	+1,8 ±1,9 % und 1.0 ±1,3%, signifikant, bei kleiner Effektgröße (0,25 und 0,35)
			Kontrolle	aktive Kontrolle, 15 halbe Kniebeugen		

Tabelle 19: Chronische Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Kraft von Spitzen- und LeistungssportlerInnen

Studie	Vibrationstyp	ProbandInnen	Gruppe	Training	Messung	Veränderung
Pérez-Turpin et al. (2014)	Power Plate ® vertikal synchron 30 – 40 Hz 1,7 – 2,5 mm (pp) 30 – 60 s	12 Volleyball- spieler und 11 Beachvolleyballer	WBV (n = 12) 6 VB und 6 BVB	Krafttraining, 6 Wochen, 3 x 1 Std / Wo	1 RM leg press	Signifikant höher, und signifikant höher bei BVB
			Kontrolle (n = 11), 6 VB und 5 BVB	Krafttraining, 6 Wochen, 3 x 1 Std / Wo		
Suarez-Arrones et al. (2014)	Anfertigung: Firma VFsport, vertikal synchron 30 Hz 4 mm (pp) 142 m/s ²	20 Rugbyspieler (16 beendet)	WBV (n = 8)	Shuttle run (1x pro Woche) + Krafttraining (1 x pro Woche) über 6 Wochen	Squat power output	+17,1%
			Kontrolle (n = 8)	Shuttle run (2 x pro Woche) über 6 Wochen	Squat power output (Körpergewicht)	+18,6%
Wang et al. (2014)	Anfertigung Firma Magtonic, vertikal synchron 30 Hz 4 mm (pp) 142 m/s ² 30 s	21 Sprinter	WBV G I (n = 7)	G I: + Kniebeuge (120°) +75% MVC Krafttraining, G II: + Kniebeuge (120°) (3 x pro Woche über 4 Wochen)	Exzentrisch MVC [Nm/kg]	Signifikant höher als bei GII und Kontrolle
			Kontrolle (n = 7)	Aktive Kontrolle 75% MVC Krafttraining (3 x pro Woche über 4 Wochen)	Exzentrisch MVC [Nm/kg]	Kein Effekt

Tabelle 20: Chronische Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Schnellkraft von Spitzen- und LeistungssportlerInnen

Studie	Vibrationstyp	ProbandInnen	Gruppe	Training	Messung	Veränderung
Pérez-Turpin et al. (2014)	Power Plate ® vertikal synchron 30 – 40 Hz 1,7 – 2,5 mm (pp) 30 – 60 s	12 Volleyball- spieler und 11 Beachvolleyballer	WBV (n = 12) 6 VB und 6 BVB	Krafttraining, 6 Wochen, 3 x 1 Std / Wo	CMJ	Signifikant höher, und signifikant höher bei BVB
			Kontrolle (n = 11), 6 VB und 5 BVB	Krafttraining, 6 Wochen, 3 x 1 Std / Wo		
			WBV (n = 12) 6 VB und 6 BVB	w.o.	SJ	Signifikant höher, und signifikant höher bei BVB
			Kontrolle (n = 11), 6 VB und 5 BVB	w.o.		

Tabelle 21: Chronische Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Geschwindigkeit von Spitzen- und LeistungssportlerInnen

Studie	Vibrationstyp	ProbandInnen	Gruppe	Training	Messung	Veränderung
Suarez-Arrones et al. (2014)	Anfertigung: Firma VFsport, vertikal synchron 30 Hz 4 mm (pp) 142 m/s ²	20 Rugbyspieler (16 beendet)	WBV (n = 8)	Shuttle run (1x pro Woche) + Krafttraining (1 x pro Woche) über 6 Wochen	RSA _{mean}	+4,1%
			Kontrolle (n = 8)	Shuttle run (2 x pro Woche) über 6 Wochen	RSA _{best}	+2,6%
					RSA _{mean}	+2,3%
					RSA _{best}	Kein Effekt
Wang et al. (2014)	Anfertigung Firma Magtonic, vertikal synchron 30 Hz 4 mm (pp) 142 m/s ² 30 s	21 Sprinter	WBV G I (n = 7)	G I: + Kniebeuge (120°) +75% MVC Krafttraining, G II: + Kniebeuge (120°) (3 x pro Woche über 4 Wochen)	30 m Speed [m/s]	GI: Signifikant schneller als G II
			G II (n = 7)			GII: Signifikant langsamer
			Kontrolle (n = 7)	Aktive Kontrolle 75% MVC Krafttraining (3 x pro Woche über 4 Wochen)		Kein Effekt

Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Kraft von AthletInnen

Akute Effekte

Drei Studien (Cloak et. al., 2016a; Kurt & Pekünlü, 2015 und Rønnestad et al., 2018) untersuchten die akuten Auswirkungen der Ganzkörperschwingungen auf die Kraft von AthletInnen.

Cloak et al. (2016a) untersuchten in ihrer Studie die Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die isometrische Beinkraft der Kniestrecker sowie auf die neuromuskuläre Aktivität der unteren Extremitäten bei 22 Amateur- und 22 Profifußballern. Die isometrische Beinkraft verbesserte sich signifikant bei den Profifußballern (+10,6%) gepaart mit einer positiven neuromuskulären Reflexantwort, während bei den Amateuren ein Abfall der Beinkraft um 3,8% gemessen wurde.

Keine positiven Auswirkungen auf die isometrische Beinkraft, Squat Jump oder Rumpfbeugetest konnten Kurt & Pekünlü (2015) in ihrer Arbeit nachweisen. Sie beschreiben allerdings eine Zunahme der Handgriffkraft, nachdem die KampfsportlerInnen ihre Hände auf der Vibrationsplattform positioniert hatten.

Die Studie von Rønnestad et al (2018) zeigte signifikant höhere durchschnittliche EMG Aktivitäten des M. vastus lateralis bei Radfahrern, die ein HIT Training mit Vibrationen durchführten, im Vergleich zu Radfahrern, die ein traditionelles HIT ohne Vibration absolvierten. Die Maximalkraft an der Beinpresse zeigte vor und nach den Trainingsintervallen keine Unterschiede zwischen Interventions- und Kontrollgruppe. Zudem wurde herausgefunden, dass durch die zugeführte Vibration während des HIT Trainings die Zeit der $\geq 90\%$ VO_{2max} verlängert werden konnte. Dies ist von Interesse, um das Training von gut trainierten RadsportlerInnen weiter zu optimieren (Rønnestad et al., 2018).

Chronische Effekte

Über vier (Wang et al., 2014) bzw. sechs Wochen (Pérez-Turpin et al., 2014; Suarez-Arrones et al., 2014) untersuchten insgesamt drei Studien die chronischen Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Kraft der unteren Extremitäten von Spitzen- und LeistungssportlerInnen.

Sechs Wochen Krafttraining mit Vibration verbesserte das 1 RM an der Beinpresse bei Volleyball- und Beachvolleyballspielern im Vergleich zu Krafttraining ohne Vibration signifikant ($p < 0,001$). Dabei konnten bei Beachvolleyballspielern signifikant höhere Ergebnisse ($+27,5 \pm 8,2$ kg) als bei Volleyballern ($+7,5 \pm 2,7$ kg) oder in der Kontrollgruppe ohne Vibration ($+2 \pm 7,6$ kg) erzielt werden. In den Kontrollgruppen ergaben sich keine signifikanten Veränderungen (BVB $+ 3,3 \pm 2,6$ kg; VB $+2,0 \pm 7,6$ kg) (Pérez-Turpin et al., 2014).

Einmal die Woche ausgeführtes Vibrationskrafttraining ergab bei Rugbyspielern über einen Zeitraum von 6 Wochen einen substanziellen Anstieg des „Squat Power Output“, nämlich absolut und relativ zum Körpergewicht der Spieler. In der Kontrollgruppe wurden währenddessen keine derartigen Veränderungen detektiert (Suarez-Arrones et al., 2014)

Vier Wochen statisches Krafttraining mit dem 75 % MVC in Kombination mit Vibration verbesserte die exzentrische Beinkraft von nationalen Sprintern signifikant ($p \leq 0,05$) im Vergleich zur Gruppe von Athleten, die nur Vibrationstraining oder nur Krafttraining ausführten (Wang et al., 2014).

Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Schnellkraft von AthletInnen

Akute Effekte

Nach einmaliger Anwendung eines Vibrationstrainings konnte bei Rhythmischen Gymnastinnen eine Leistungssteigerung der Sprungkraft bei vertikalen Sprungtests gemessen werden. So verbesserten sich der Squat jump (9,5%) und der Countermovementjump (5%) bei den olympischen Gymnastinnen signifikant, während die Sprunghöhe in der Kontrollgruppe beim CMJ abnahm (-0,7%) (Despina et al., 2014).

In der Studie von Naclerio et al. (2014) wurde die Sprungkraft von College Athleten vor und nach drei unterschiedlichen Krafttrainingsprotokollen mit und ohne Vibration untersucht. Hierbei ergaben sich für alle Gruppen signifikante Verbesserungen der Sprunghöhe beim CMJ ($p = 0,005$) nach einer Erholungsphase von vier Minuten bei geringerer Belastung (low volume Krafttrainingsprotokoll).

Nach Vibrationskrafttraining wurde nach beiden Konditionen, also Krafttraining mit hohem und geringem Umfang, eine signifikant geringere Höhe beim Drop Jump nach nur einer Minute Pausenzeit gemessen. Insgesamt wurden keine signifikanten Änderungen der Variablen zu beiden Zeitpunkten und zwischen den drei Gruppen ermittelt. Alle gemessenen Effektgrößen waren klein (Naclerio et al., 2014).

Oliveira et al. (2018) überprüften anhand von CMJ und Roundhousekick von KampfsportlerInnen die akuten Effekte eines einmaligen Trainings auf der Vibrationsplattform und konnten keine signifikanten Veränderungen bezüglich Sprungkraft und Sprunghöhe feststellen (Oliveira et al., 2018).

Chronische Effekte

Pérez-Turpin et al. (2014) fanden starke Effekte bezüglich des WBV über die Zeit und ebenso signifikant große Effekte in Bezug auf die Disziplin (Beachvolleyball versus Volleyball) gefolgt von höheren Messungen bei Squat Jump und Countermovementjump. Die Interventionsgruppen wiesen nach 6 Wochen Training gegenüber der Kontrollgruppe eine bessere Sprungkraft auf. Dieser Effekt war bei den Beachvolleyballern deutlicher als bei den Volleyballern (Pérez-Turpin et al., 2014).

Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Gleichgewichtsfähigkeit von AthletInnen

Akute Effekte

Signifikant bessere Werte beim DPSI (Dynamic Postural Stability Index) zeigten Profifußballer nach einmaligen Vibrationskrafttraining (-7,9%) in der Vorsaison im Vergleich zu Amateurfußballern (+2,8%) (Cloak et al., 2016b). Zusätzlich wurden eine signifikante Verbesserung in der „anterior reach distance“ bei Profi- und Amateurfußballern festgestellt.

In der Studie von Despina et al. (2014) verbesserten sich die Balance Tests der Rhythmischen Gymnastinnen 15 Minuten nach dem WBV beim Rhythmic Weight Shift Test (RWS) sowie beim Limits of Stability (LOS) Test signifikant.

Beim „Limits of Stability End Point Excursion“ Test (LOSEPE) zeigte die Kontrollgruppe einen signifikanten Abfall der Werte, während die Interventionsgruppe ihre Leistung beibehalten konnten.

Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Beweglichkeit von AthletInnen

Akute Effekte

Despina et al. (2014) untersuchten auch die Beweglichkeit von Rhythmischen Gymnastinnen mittels „Sit and Reach“ Test (S&R) und stellten eine signifikante Verbesserung der Flexibilität eine und 15 Minuten nach dem Ganzkörpervibrationstraining fest.

Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Geschwindigkeit von AthletInnen

Akute Effekte

In den Pausen eines „Repeated Sprint Ability“ (RSA) Tests mittels sechs shuttle runs, wurde alternierend Ganzkörpervibration bei jungen Fußballern in der Wettkampfsaison eingesetzt und anschließend die Sprintfähigkeit der Athleten untersucht (Padulo et al., 2014).

Die gemessenen Variablen (Worst time, Total time, Fatigue Index und Blutlaktat) verbesserten sich im Vergleich zu den beiden Kontrollgruppen signifikant. Einzig die Variable „Best time“ wurde nicht durch das Vibrationstraining in den Laufpausen beeinflusst. WBV brachte beim Vergleich einzelner Sprints große, signifikante Effekte beim letzten und vorletzten Lauf gegenüber beiden Kontrollgruppen ($p < 0,005$) (Padulo et al., 2014). Die Interventionsgruppe lief beim fünften Sprint um 2,29 % sowie 2,95 % ($p < 0,005$) und beim sechsten Lauf sogar um 2,75% und 4,09% ($p < 0,005$) schneller als die Kontrollgruppen (Padulo et al., 2014).

In der Studie von Rønnestad et al. (2016) verbesserte sich die 10 und 20 m Sprintzeit von Eishockeyspielern die 30 Sekunden ein vorbereitendes Training auf der Vibrationsplattform (50 Hz, 3 mm) durchführten. Im Vergleich zur Kontrollgruppe verbesserte sich die Sprintzeit um $1,8 \pm 1,9\%$ und $1,0 \pm 1,3\%$ (Effektgröße 0,35 und 0,25).

Chronische Effekte

Bei der Recherche zu dieser Arbeit konnten zwei Studien (Suarez-Arrones et al., 2014; Wang et al., 2014) gefunden werden, die chronische Auswirkungen von Vibrationstraining auf die Geschwindigkeit von Athleten untersuchten.

In der Arbeit um die Gruppe von Suarez-Arrones et al. (2014) trainierten die Rugbyspieler während der Spielsaison zusätzlich über sechs Wochen mit dem Vibrationstrainingsgerät. In der Interventionsgruppe verbesserte sich die „Repeated Sprint Ability“ (RSA_{mean}) um +4,1% im Vergleich zur Kontrollgruppe (+2,3%). RSA_{best} stieg in der Vibrationstrainingsgruppe um 2,6% an, während in der reinen Sprintgruppe (Kontrolle) keine Veränderungen gemessen wurden (Suarez-Arrones et al., 2014).

Die Elitesprinter in der Studie von Wang et al. (2014) erzielten nach einem vierwöchigen Krafttraining mit Vibration im Vergleich zur Kontrollgruppe, die Vibrationstraining ohne zusätzliches Gewicht absolvierte, signifikant bessere Sprintzeiten ($p \leq 0,05$). Die Vibrationsgruppe ohne Zusatzgewicht wies eine signifikante Reduktion der Sprintzeiten auf, während in der Kontrollgruppe (ausschließlich Krafttraining) keine signifikanten Verbesserungen der Sprintzeiten nachweisbar waren (Wang et al., 2014).

4 Diskussion

4.1 Zusammenfassung der Evidenz

Die in dieser Literaturübersicht herangezogenen Studien unterschieden sich in ihrer Qualität, gemessen an der PEDro Skala von 3 bis zu 7 gemessenen Punkten. Insgesamt können 10 Punkte erreicht werden, wobei 6 Punkte den Mindestwert für methodisch hochwertige Studien darstellt (Maher et al., 2003).

Insgesamt weisen sieben der zwölf Studien (Cloak et al., 2016a; Cloak et al., 2016b; Despina et al., 2014; Padulo et al., 2014, Pérez-Turpin, 2016; Rønnestad et al., 2016; Suarez-Arrones et al., 2014) eine signifikant positive Auswirkung von Vibrationstraining auf mindestens einen der untersuchten Parameter aus. Vier der zwölf Arbeiten zeigen gemischte Effekte (Kurt & Pekünlü, 2015; Naclerio et al., 2014; Rønnestad et al., 2018; Wang et al., 2014), während eine Arbeit (Oliveira et al., 2018) keine Auswirkungen des Vibrationstrainings auf primäre Studienendpunkte messen konnte.

Die Untersuchung der internen Validität fällt bei den Arbeiten sehr unterschiedlich aus und lieferte heterogene Ergebnisse (Tabelle 13). Die sieben Studien (Cloak et al., 2016a; Cloak et al., 2016b; Despina et al., 2014; Padulo et al., 2014, Pérez-Turpin, 2016; Rønnestad et al., 2016; Suarez-Arrones et al., 2014), welche vorwiegend positive Auswirkungen des Vibrationstrainings messen konnten, erreichen auf der PEDro Skala einen Wert von durchschnittlich 5,7 (siehe Tabelle 13) und liegen damit knapp unter dem empfohlenen Mindestwert von 6 (Maher et al., 2003). Bei Einzelbetrachtung der sieben Arbeiten fällt jedoch auf, dass 5 Studien (Cloak et al., 2016a; Cloak et al., 2016b; Despina et al., 2014; Pérez-Turpin, 2016; Rønnestad et al., 2016) die Punktezahl 6 bzw. 7 vorweisen können, während zwei Studien (Padulo et al., 2014; Suarez-Arrones et al., 2014) mit 5 und 3 Punkten als Ausreißer betrachtet werden können.

Die vier Arbeiten mit gemischten Auswirkungen (Kurt & Pekünlü, 2015; Naclerio et al., 2014; Rønnestad et al., 2018; Wang et al., 2014) kommen auf durchschnittlich 5 Punkte und weisen damit gemäß PEDro Skala ein relativ hohes Risiko der Verzerrung auf. Hier konnten zu 5 der 10 Kriterien der PEDro Skala (Tabelle 13) keine Aussagen getroffen werden. Während die Studie von Oliveira et al. (2018), die keine Effekte des Vibrationstrainings auf die Leistung von KampfsportlerInnen messen konnte, einen Punktwert von 6 Punkten erreicht.

4.2 Einschränkungen

Jene Studien, die zum Teil schlechte Ergebnisse für die PEDro Skala allerdings positive Ergebnisse bezüglich der Interventionen aufweisen, zeigen deutliche Lücken in der Informationsdarstellung. Meist konnten bei diesen Arbeiten mehrere Kriterien nicht adäquat beantwortet werden. Dies birgt die Gefahr in sich, dass diesen Studien aufgrund mangelhafter Berichterstattung ein zu hohes Risiko der Verzerrung zugesprochen wird.

Eine Limitation dieser Übersichtsarbeit war die Verblindung. Nur in einer Studie wurden die Teilnehmer verblindet (Rønnestad et al., 2016). Die TherapeutInnen und Untersucher waren in keiner der vorliegenden Studien verblindet, sodass dieses Kriterium bei allen Arbeiten negativ beantwortet werden musste. Wobei festgehalten werden muss, dass bei vorliegendem Studiendesign eine Verblindung der ProbandInnen schwer bis kaum möglich war, da die Unterscheidung der Interventionen prinzipiell möglich ist. Das bloße Abdrehen des Vibrationsgerätes kann nicht als tatsächliche „Scheinbehandlung“ betrachtet werden (Hortobágyi, Rider, Devita, 2014; Hortobágyi et al., 2015). Echte Placebo Behandlungen wirken sich auf physiologische und biologische Mechanismen sowie Verhaltensmerkmale der ProbandInnen aus. Durch summende Motorgeräusche bei abgestellter Vibration und Abbildung von Frequenzzahlen auf dem Display eines echten „Sham“-Gerätes konnten bei StudienteilnehmerInnen Veränderungen physiologischer Daten nachgewiesen werden (Hortobágyi et al., 2014). In den vorliegenden Studien wird darauf hingewiesen, dass die Geräte abgedreht waren (0 Hz, 0 mm), allerdings geht nicht hervor ob es sich um „echte“ Sham – Geräte handelte, die eine Verblindung der AthletInnen möglich gemacht hätte.

Eine weitere Schwäche dieses Reviews ist die Tatsache, dass die Literaturrecherche nur von einer Person und mittels drei Online Datenbanken durchgeführt wurde. Außerdem wurde nicht nach unveröffentlichten Arbeiten gesucht, was die Gefahr des Publikations - Bias in sich birgt.

Obwohl die Interventionsprogramme gut und detailliert beschrieben waren, variierten die Trainingsprotokolle der einzelnen akuten und chronischen Studien zum Teil erheblich. Dies drückt sich in unterschiedlichen Frequenzen, Amplituden und der Expositionsdauer aus. Auch die Arten der Übungen, die auf der Plattform ausgeführt wurden, waren verschieden, wodurch die Vergleichbarkeit der Studien weiter eingeschränkt wird (vgl. Tabelle 9 und 10).

4.3 Vergleich und Interpretation der Ergebnisse

Das primäre Ziel dieser Arbeit war, einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand des Ganzkörpervibrationstrainings im Leistungssport zu geben. Hierbei sollte ein besonderes Augenmerk auf die Belastungsparameter und Trainingsregimes dieser Subpopulation in unterschiedlichen Sportarten gelegt werden.

Der systematische Review „Ganzkörpervibrationstraining, Nutzen versus Risiko im Leistungssport?“ kam mittels der zwölf zugrundeliegenden Studien zu gemischten Ergebnissen, die aber auf einen positiven Trend hindeuten. Hier widerspiegelt sich auch die Divergenz des aktuellen Forschungsstandes zu den Auswirkungen von Ganzkörpervibrationstraining zwischen verschiedenen AutorInnen. Wie in Kapitel 4.2 bereits erwähnt, ist die Vergleichbarkeit der Studien durch eine große Heterogenität in den angewandten Trainingsprotokollen erschwert. Des Weiteren variierten die unterschiedlichen Übungen, die auf den Vibrationsplattformen ausgeführt wurden, zum Teil sehr stark. Es wurden sowohl statische als auch dynamische Übungen, mit und ohne Zusatzlasten, durchgeführt.

Als weitere Einschränkung sollte erwähnt werden, dass neun der zwölf kürzlich veröffentlichten Studien akute Effekte messen, während nur drei Studien längerfristige Auswirkungen des Vibrationstrainings untersuchten.

Unterschiedliche Leistungsparameter, wie die Kraft, Schnellkraft, Gleichgewichtsfähigkeit, Beweglichkeit, Flexibilität und die Sprintfähigkeit, konnten bei WettkampfsportlerInnen zum Teil signifikant verbessert werden.

Akute Effekte

Die in dieser Arbeit untersuchten akuten Auswirkungen des Vibrationstrainings auf 105 Profifußballer aus drei Studien waren beispielsweise durchwegs positiv (Cloak et al., 2016a, Cloak et al., 2016b; Padulo et al., 2014).

Die in der Studie von Cloak et al. (2016a) untersuchte isometrische Beinkraft verbesserte sich bei Profifußballern im Vergleich zu Amateurfußballern signifikant und ging mit einer positiven neuromuskulären Reflexantwort einher.

In einer weiteren Studie von Cloak et al. (2016b) wurde dieselbe anspruchsvolle isometrische Übung auf der Plattform lediglich bei unterschiedlicher Amplitude angewandt (Tabelle 16). Hier kam es nach einmaliger Intervention zu einer Verbesserung der posturalen Stabilität bei Profifußballern im Vergleich zu Amateurfußballern (Cloak et al., 2016b). Der Einsatz von Vibrationskrafttraining in der Vorbereitung bzw. Halbzeit zum Spiel sollte gemäß diesen Ergebnissen bei Amateurfußballern überdacht werden, da eine verminderte posturale Stabilität mit einem erhöhten Verletzungsrisiko einhergeht (Cloak et al., 2016b).

Bei jungen Fußballern in der Wettkampfsaison konnte die Sprintfähigkeit durch eine ähnliche isometrische Übung wie bei Cloak et al. (2016a und 2016b) verbessert werden (Padulo et al., 2014). Es wurde ebenfalls eine isometrische Kniebeuge - Position im Ballenstand eingenommen, bei der lediglich der Kniewinkel im Vergleich zu den beiden anderen Studien, um 10 ° kleiner gewählt wurde. Die Geräteeinstellungen unterschieden sich geringfügig. Während die Frequenz um 5 Hertz höher gewählt wurde, war die Amplitude um 4 – 6 mm niedriger eingestellt (vgl. Tabelle 18). Außer der Variablen „Best time“ verbesserten sich alle gemessenen Parameter (Worst time, Total time, Fatigue Index und Blutlaktat) im Vergleich zu den beiden Kontrollgruppen signifikant (Padulo et al., 2014).

Keine positiven Auswirkungen auf die isometrische Beinkraft, Squat Jump oder Rumpfbeugetest konnten Kurt & Pekünlü (2015) in ihrer Arbeit mit 20 KampfsportlerInnen nachweisen. Sie beschreiben allerdings eine Zunahme der Handgriffkraft, nachdem die ProbandInnen ihre Hände auf der Vibrationsplattform positioniert hatten.

Oliveira et al. (2018) überprüften anhand des CMJ von KampfsportlerInnen die akuten Effekte eines einmaligen Trainings auf der Vibrationsplattform und konnten keine signifikanten Veränderungen bezüglich Sprungkraft und Sprunghöhe bei den 15 AthletInnen feststellen (Oliveira et al., 2018).

In den beiden akuten Studien im Kampfsportbereich waren die Ergebnisse gemischt. Während Oliveira et al. (2018) nach Vibrationstraining in einer statischen Position keine Veränderungen der Sprungkraft und Sprunghöhe bei AthletInnen feststellten, konnten Kurt & Pekünlü (2015) eine Zunahme der Handgriffkraft nach Positionierung der Hände auf der Vibrationsplattform messen.

Die ebenfalls untersuchten Auswirkungen auf die isometrische Beinkraft, Squat Jump Höhe bzw. Rumpfbeugetest zeigten keine positiven Effekte (Kurt & Pekünlü, 2015). In diesen beiden Studien fällt die niedrige Geräteeinstellung mit 26 Hz und einer Amplitude von 4 mm (Kurt & Pekünlü, 2015) bzw. 6 mm (Oliveira et al., 2018) auf.

Manimmanakorn et al. (2014) konnten in ihrer Metaanalyse zur Beeinflussung der Sprunghöhe durch Vibrationstraining belegen, dass Frequenzen unter 30 Hertz und Amplituden unter 3 mm geringere Effekte auf die Sprunghöhe haben als höhere Geräteeinstellungen. Auch eine längere Expositionsdauer wirkt sich positiv auf die Sprungkraft aus. Weiter sind längere Trainingsperioden (größer 12 Wochen bzw. größer 4 Wochen) effektiver. Manimmanakorn et al. (2014) und Issurin (2005) empfehlen für das Vibrationstraining Frequenzen zwischen 30 und 50 Hz. Diese Frequenzen regen die Muskelspindeln an, welche ihrerseits Alpha - Motoneuronen während der maximalen Muskelkontraktion aktivieren können (Manimmanakorn et al., 2014). Die Verbesserung der Sprungkraft könnte auf neuronale Anpassungen zurückzuführen sein (Issurin, 2005).

Im Gegensatz zu den Ergebnissen von Oliveira et al. (2018) und Kurt und Pekünlü (2015) konnte bei Rhythmischen Gymnastinnen eine Leistungssteigerung der Sprungkraft bei vertikalen Sprungtests gemessen werden (Despina et al., 2014). Zusätzlich verbesserte das Vibrationstraining die Gleichgewichtsfähigkeit bei den Balance Tests signifikant, während die Kontrollgruppe, welche dieselbe Übung am abgeschalteten Vibrationsgerät ausführte, einen signifikanten Leistungsabfall verzeichnete. Auch die Beweglichkeit der SportlerInnen verbesserte sich signifikant.

Auch in der Studie zu den akuten Effekten des Vibrationstrainings von Naclerio et al. (2014) wurde die Sprungkraft untersucht. Hierbei berichteten die AutorInnen von einer signifikanten Verbesserung der Sprunghöhe beim CMJ von College Athleten nach einer Erholungsphase von vier Minuten bei geringerer Belastung (low volume Krafttrainingsprotokoll). Lediglich beim Drop Jump wurde nach nur einer Minute Pause eine signifikant geringere Höhe gemessen (Naclerio et al., 2014).

Im Gegensatz dazu berichten systematischer Review und Metaanalyse von Hortobágyi et al. (2015), von geringen und inkonsistenten Effekten von Ganzkörpervibrationstraining auf die athletische Leistungsfähigkeit von ElitesportlerInnen.

Bezogen auf die Studien von Naclerio et al. (2014) und Despina et al. (2014) stellen Hortobágyi et al. (2015) minimale bis keine unmittelbaren Effekte des Vibrationstrainings auf die direkt oder indirekt gemessene Beinkraft fest. Auch die Literaturübersicht von Wilcock et al. (2009), die Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Leistung von AthletInnen untersucht hat, kommt zu dem Ergebnis, dass nur geringe Auswirkungen auf die Maximalkraft bzw. Schnellkraft bei dieser Subpopulation erreicht werden kann. Weiter wurden in diesem Review keine Auswirkungen auf die Geschwindigkeit von SportlerInnen festgestellt (Wilcock et al., 2009).

Dies deckt sich zum Teil mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit. So verbesserte sich in der Studie zu akuten Auswirkungen des Vibrationstrainings von Rønnestad et al. (2016) die Sprintzeit von Eishockeyspielern nach 30 Sekunden Vorbereitungstraining auf der Vibrationsplattform ohne Zusatzgewichte (50 Hz, 3 mm).

In einer weiteren Studie von Rønnestad et al. (2018) zeigten Radfahrer signifikant höhere durchschnittliche EMG Aktivitäten des M. vastus lateralis nach einem HIT Training mit Vibrationen, im Vergleich zu Radfahrern, die ein traditionelles HIT ohne Vibration absolvierten. Allerdings blieb die Maximalkraft an der Beinpresse unverändert (Rønnestad et al., 2018).

Chronische Effekte

Bei der Literaturrecherche zu diesem Review konnten lediglich drei Studien (Pérez-Turpin et al., 2014; Suarez-Arrones et al., 2014; Wang et al., 2014) zu den chronischen Auswirkungen von Vibrationstraining gefunden werden.

Hierbei verzeichnete die Studie von Suarez-Arrones et al. (2014), nach sechswöchigem Vibrationstraining mit Rugbyspielern, verbesserte Ergebnisse der „Repeated Sprint Ability“ im Vergleich zur Kontrollgruppe welche reines Sprinttraining praktizierte.

Gemischte Ergebnisse in punkto Sprintzeiten ergab das Vibrationstraining in der Studie von Wang et al. (2014) an Elite Sprintern. Die Sportler erzielten nach einem vierwöchigen Krafttraining mit Vibration im Vergleich zur Kontrollgruppe, die ohne zusätzliches Gewicht trainierte, signifikant bessere Sprintzeiten. Allerdings kam es bei der Vibrationsgruppe ohne Zusatzgewicht zu einer signifikanten Reduktion der Sprintzeiten.

Bei der Kontrollgruppe, die ausschließlich Krafttraining durchführte, waren keine Veränderungen der Sprintzeiten nachweisbar (Wang et al., 2014).

Stark positive Effekte konnten Pérez-Turpin et al. (2014) bei Beachvolleyball- und Volleyballspielern messen. Squat Jump und CMJ verbesserten sich nach 6 Wochen Krafttraining signifikant auf der Vibrationsplattform gegenüber der Kontrollgruppe, die traditionelles Krafttraining ohne Vibration ausführte. Bei Beachvolleyballern war dieser Effekt stärker ausgeprägt als bei Volleyballspielern (Pérez-Turpin et al., 2014).

Körperpositionen, Übungen und Zusatzlasten

Von den sieben Studien, die positive Auswirkungen des Ganzkörpervibrationstrainings gemessen haben (Cloak et al., 2016a; Cloak et al., 2016b; Despina et al., 2014; Padulo et al., 2014; Pérez-Turpin, 2014; Rønnestad et al., 2016; Suarez-Arrones et al., 2014) führten die Interventionsgruppen in vier Arbeiten dynamische Kraftübungen auf der Plattform aus (Despina et al., 2014; Pérez-Turpin, 2014; Rønnestad et al., 2016; Suarez-Arrones et al., 2014). Bei drei der vier Arbeiten benutzten die Athleten außerdem Zusatzlasten für das Krafttraining auf dem Vibrationsgerät (Pérez-Turpin, 2014; Rønnestad et al., 2016; Suarez-Arrones et al., 2014). In der verbleibenden vierten Studie führten Rhythmische Gymnastinnen dynamische Kniebeugen ohne Zusatzlast aus (Despina et al., 2014).

In drei der sieben Studien mit positiven Auswirkungen auf die athletische Leistungsfähigkeit (Cloak et al., 2016a und Cloak et al., 2016b; Padulo et al., 2014), wurden anspruchsvolle statische Körperpositionen eingenommen.

Bei Cloak et al., 2016a und Cloak et al., 2016b verweilten die Fußballer in einer 100° Kniebeuge im Ballenstand, während in der Untersuchung von Padulo et al. (2014) die isometrische Kniebeuge im Ballenstand bei einem 90° Winkel gehalten wurde.

Diese Ergebnisse zeigten, dass AthletInnen während der Ganzkörpervibration individualisierte Trainingsreize sowie spezifische Übungen benötigen, um die gemessenen Leistungsparameter entsprechend zu verbessern (siehe auch Kapitel 1.4.4 Parameter zur Trainingssteuerung). So wurde in der einzigen Studie, die keine Effekte des Vibrationstrainings vermerken konnte, eine, an den Empfehlungen gemessene, niedrige Frequenzeinstellung (26 Hz, 6 mm) gewählt.

Außerdem wurde eine der Grundhaltung ähnliche statische Kniebeuge mit nur 10 ° Kniewinkel eingenommen (Oliveira et al., 2018).

In zwei (Kurt und Pekünlü, 2015; Wang et al. 2014) der vier Studien (Kurt & Pekünlü, 2015; Naclerio et al., 2014; Rønnestad et al., 2018; Wang et al., 2014) mit gemischten Ergebnissen führten die ProbandInnen isometrische Übungen aus.

In der Untersuchung von Kurt & Pekünlü (2015) an KampfsportlerInnen wurden, ähnlich wie bei Oliveira et al. (2018) niedrige Geräteeinstellungen (26 Hz, 4 mm) gewählt. Gemäß Empfehlung von Kaeding (2016) wären allerdings Frequenzen zwischen 35 und 50 Hertz für die Steigerung muskulärer Leistungsparameter, wie Schnellkraft und Maximalkraft, am effektivsten (Kaeding, 2016).

Die vier isometrischen Übungspositionen (Kniebeuge 90°; Plankposition im Unterarmstütz - einmal mit Unterarm und einmal mit Füßen auf der Plattform; Handflächen auf der Plattform) sind in Abbildung 14 dargestellt (Kurt und Pekünlü). Das direkte Auflegen der Handflächen brachte eine akute Verbesserung der Handgriffkraft. Die Kniebeuge mit einem Kniewinkel von 90°, die als einzige Übung mit den anderen Studien dieser Literaturübersicht vergleichbar ist, ergab keinen Effekt. Laut Literatur werden Körperteile, die der Vibrationsplattform näher sind, stärker stimuliert, als Körperteile die plattenfern liegen (Crewther et al., 2004). Dies könnte die positive Auswirkung auf die Handgriffkraft erklären. Die beiden Plankpositionen sind aufgrund der Nähe des Kopfes zur Vibrationsquelle wie sitzende und liegende Positionen wegen der vermehrten Schwingungsübertragung auf den Kopf, als kritisch zu betrachten (Kaeding, 2016).

In der Studie von Wang et al. (2014) wurde von den Sprintern eine statische Position (Kniebeuge mit einem Gelenkwinkel von 120°) auf der Vibrationsplattform eingenommen. Hier wurde zusätzlich zwischen einer Interventionsgruppe mit Zusatzlast (75 % des MVC) und einer Vibrationsgruppe ohne Zusatzlast differenziert. Positive Auswirkungen auf die Sprintfähigkeit der Athleten wurden ausschließlich in der Gruppe mit Zusatzlast gemessen. Bei der Vibrationsgruppe ohne Zusatzlast wurde sogar eine Verschlechterung der Sprintzeiten festgestellt. Dieses Resultat unterstreicht die Notwendigkeit individualisierter Trainingsprotokolle, um die Leistungsfähigkeit von Spitzenathleten fördern zu können. Frequenzen über 30 Hertz bzw. dynamische und intensive Krafttrainingsübungen mit

Zusatzgewichten sollten eingesetzt werden, um die muskuläre Leistungsfähigkeit von gut trainierten SportlerInnen positiv zu unterstützen (Wilcock et al. 2009).

In beiden verbleibenden, akuten Arbeiten (Naclerio et al., 2014; Rønnestad et al., 2018) mit gemischten Auswirkungen des Ganzkörpervibrationstrainings wurde dynamisch trainiert. Naclerio et al. (2014) ließen College Athleten in der Versuchsgruppe Kniebeugen mit 80% des 1 RM auf der Vibrationsplattform bei einer Geräteeinstellung von 40 Hertz und einer Amplitude von 1,96 mm ausführen. Die beiden Kontrollgruppen führten entweder dieselbe Übung bei ausgeschaltetem Gerät durch, oder hielten eine statische Position auf der Plattform (vgl. Kapitel 3.2.2 Interventionen). In Bezug auf die Sprunghöhe beim CMJ konnten in allen drei Gruppen signifikante Verbesserungen nach der längeren Pause von vier Minuten beobachtet werden. Nach nur einer Minute Pause nahm die Drop Jump – Höhe in der Interventionsgruppe signifikant ab, während sie nach vier Minuten unverändert blieb.

Das Interventionsprogramm von Rønnestad et al. (2018) ergab eine signifikant höhere Messung der durchschnittlichen EMG Aktivität des M. vastus lateralis von Radsportlern während eines HIT Trainings. Rønnestad, Holden, Samnøy & Paulsen G. (2012) vermuten, dass durch die Vibration des Fahrrades dehnungssensible Muskelspindeln angeregt werden welche ihrerseits Alpha – Motoneuronen aktivieren und in Folge zu reflexartigen Kontraktionen der Muskulatur führen. Allerdings zeigten die Resultate für die Maximalkraft an der Beinpresse keinerlei Unterschied zwischen Interventions- und Kontrollgruppe (Rønnestad et al., 2018).

In keiner der für diesen Review herangezogenen zwölf Studien wurde von Nebenwirkungen oder unerwünschten Effekten des Vibrationstrainings berichtet. In der Studie von Suarez-Arrones et al. (2014) schieden vier der zwanzig Rugbyspieler vorzeitig aus und konnten das Studienprotokoll nicht beenden. Hinsichtlich der Erkrankungsursache der Sportler wurde von den Autoren allerdings keine Angaben gemacht.

5 Conclusio und Ausblick

Im der vorliegenden Übersichtsarbeit wurden Nutzen und Risiko von Ganzkörper-vibrationstraining im Leistungssport hermeneutisch untersucht. Außerdem sollte anhand der Literaturrecherche erhoben werden welche Belastungsparameter und Trainingsregimes sich bei Leistungs- und WettkampfsportlerInnen unterschiedlicher Sportarten als zielführend erwiesen haben. Mögliche Risiken und Nebenwirkungen, die mit dem Training auf Vibrationsplatten einhergehen könnten, sollten ebenfalls berücksichtigt werden. Es wurden ausschließlich Studien der letzten fünf Jahre an LeistungssportlerInnen jeglicher Sportart und alle Arten von Vibrationsplatten in die Recherche eingeschlossen.

Die systematische Literatursuche erfolgte mit Hilfe von drei Onlinedatenbanken. Um für die Forschungsfragen relevante Artikel zu finden, wurden vor der Recherche Ein- und Ausschlusskriterien bestimmt. Mittels Onlinesuche konnten schließlich 12 Studien an LeistungssportlerInnen gefunden werden. Der Auswahlprozess der Studien ist im PRISMA – Flussdiagramm dargestellt (siehe Abbildung 13). Dieser Review wurde mit Hilfe der PRISMA – Richtlinien für RCTs erstellt. Um die interne Validität bzw. das Verzerrungspotential der inkludierten Arbeiten zu bewerten wurde die PEDro – Skala herangezogen (siehe Tabelle 13).

Sieben der zwölf untersuchten Studien (Cloak et al., 2016a; Cloak et al., 2016b; Despina et al., 2014; Padulo et al., 2016; Rønnestad et al., 2016; Pérez-Turpin et al., 2014; Suarez-Arrones et al., 2014), knapp mehr als die Hälfte, berichteten über positive Auswirkungen des Vibrationstrainings auf athletische Leistungsparameter von gut trainierten SportlerInnen bzw. ElitesportlerInnen. Ein Drittel der Arbeiten (Kurt & Pekünlü, 2015; Naclerio et al., 2014; Rønnestad et al., 2018; Wang et al., 2014) berichtete über gemischte Effekte des Schwingungstrainings, während eine Arbeit (Oliveira et al., 2018) keinen Nutzen des Trainings mit Schwingungen für AthletInnen feststellen konnte. Keine der Studien stellte Nebenwirkungen oder negativen Auswirkungen des Schwingungstrainings fest.

Die LeistungssportlerInnen, die von den positiven Auswirkungen des Vibrationstrainings profitieren konnten kamen aus folgenden sechs Sportarten: Fußball (Cloak et al., 2016a; Cloak et al., 2016b; Padulo et al., 2014), Rhythmische Gymnastik (Despina et al., 2014), Eishockey (Rønnestad et al., 2016), Volleyball, Beachvolleyball (Pérez-Turpin et al., 2014) und Rugby (Suarez-Arrones et al., 2014).

Einige AutorInnen geben an das Ganzkörpervibrationstraining im Leistungssport nur geringe positive Effekte auf AthletInnen hat, da diese im Vergleich zu kranken, älteren oder untrainierten Personen eine geringeres Adaptationspotential aufweisen. Der Trainingsreiz ist, verglichen mit dem Gesamttrainingspensum hochtrainierter SportlerInnen, insgesamt zu klein, um einen bedeutsamen Beitrag leisten zu können (Cochrane et al., 2013; Hortobágyi et al., 2015; Wilcock et al., 2009).

Andere Untersuchungen konnten allerdings positive Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Sprungkraft (Manimmanakorn et al., 2014; Pérez-Turpin et al., 2014) und die Maximalkraft (Marin & Rhea, 2010b) belegen. Hierbei scheinen vertikal schwingende Geräte bei längerfristigem Training höhere Effekte zu erzielen, während bei akutem Training seitenalternierende Vibrationsplattformen überlegen sind (Marin & Rhea, 2010b).

Von den vorliegenden akuten Studien ergaben fünf (Cloak et al., 2016a; Cloak et al., 2016b; Despina et al., 2014; Padulo et al., 2016; Rønnestad et al., 2016) von insgesamt neun Arbeiten signifikant positive Effekte des Vibrationstrainings auf die getesteten Parameter.

Drei der fünf positiv bewerteten Studien untersuchten die Leistungsfähigkeit von Fußballern (Cloak et al., 2016a; Cloak et al., 2016b; Padulo et al., 2016). Vibrationstraining führte bei Profifußballern zur Verbesserung der isometrischen Kraft des Quadrizeps (Cloak et al., 2016a), der Gleichgewichtsfähigkeit, der Stabilität (Cloak et al., 2016b) und der Sprintfähigkeit (Padulo et al., 2016). Cloak et al. (2016a und 2016b) verglichen in ihrer Arbeit zwischen Amateur- und Profifußballern. Es zeigte sich, dass sich die gemessenen Leistungsparameter (isometrische Kraft, Gleichgewichtsfähigkeit und Stabilität) bei Amateurfußballer verschlechterten. Die Studienergebnisse weisen darauf hin, dass akutes Vibrationstraining in der Vorbereitung zum Spiel bzw. in Halbzeitpausen eine geeignete Trainingsmaßnahme für Profifußballer sein könnte. Bei Amateurfußballern kann Vibrationstraining in der Aufwärmphase nicht empfohlen werden, da eine schlechte posturale Stabilität mit einem erhöhten Verletzungsrisiko einhergeht. Zukünftige Studien sollten ihren Fokus auf mögliche Ursachen für die unterschiedlichen Adaptationsmechanismen an das Vibrationstraining zwischen Amateur- und Profifußballern sowie die unterschiedlichen Kraftprofile von Fußballspielern legen (Cloak et al., 2016a und 2016b).

Rhythmische Eliteturnerinnen konnten ihre Leistungen bei einer Reihe von Flexibilitäts-, Kraft- und Balancetests gegenüber der Kontrollgruppe, die ein vergleichbares Trainingsprogramm durchführte, nach einmaligen Vibrationstraining signifikant verbessern (Despina et al, 2014).

In der Studie von Rønnestad et al. (2016) konnten Eishockeyspieler durch den einmaligen Einsatz des Schwingungstrainings Leistungsverbesserungen in Bezug auf die Sprintgeschwindigkeit erzielen. Die Autoren empfehlen demgemäß Vibrationstraining in das spezifische Sprinttrainingsprogramm von Eishockeyspielern aufzunehmen.

Nach Analyse der chronischen Studien konnten zwei (Pérez-Turpin et al., 2014; Suarez-Arrones et al., 2014) von insgesamt drei Arbeiten (Pérez-Turpin et al., 2014; Suarez-Arrones et al., 2014; Wang et al., 2014) einen positiven Nutzen für die Leistungssteigerung von AthletInnen durch Vibrationstraining erzielen.

Pérez-Turpin et al. (2014) verglichen traditionelles Krafttraining mit Vibrationstraining und konnten zeigen, dass ein sechswöchiges Krafttraining mit Schwingungen zu größeren Verbesserungen der Beinkraft und Sprungkraft von Beachvolleyballern und Volleyballern führt. Wobei dieser Effekt bei Beachvolleyballern deutlicher war.

Einmal die Woche ausgeführtes Vibrationskrafttraining ergab bei Rugbyspielern über einen Zeitraum von 6 Wochen einen substanziellen Anstieg des „Squat Power Output“, nämlich absolut und relativ zum Körpergewicht der Spieler. In der Kontrollgruppe wurden währenddessen keine derartigen Veränderungen detektiert (Suarez-Arrones et al., 2014)

Zusammengefasst konnte in sieben Studien und bei sechs Sportarten positive Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die spezifische Leistungsfähigkeit von SpitzensportlerInnen nachgewiesen werden.

Insgesamt sind direkte Vergleiche zwischen den einzelnen Studien aufgrund der starken Inhomogenität der angewandten Trainingsprotokolle, unterschiedlichen Testverfahren und unterschiedlichen Leistungsanforderungen an die AthletInnen nur eingeschränkt möglich.

Nach Durchsicht der eingeschlossenen Studien dürften für LeistungssportlerInnen höhere Frequenzen, Amplituden, Expositionszeiten sowie längere Trainingsperioden, für die Steigerung der Maximal- und Schnellkraft, zielführend sein. Eine entscheidende Rolle nehmen auch die gewählte Körperposition bzw. ausgeführten Übungen ein. Bei LeistungssportlerInnen dürften anspruchsvollere Übungen eine größere Effektivität haben. Hier könnten auch dynamische Übungen bzw. Übungen mit Zusatzlasten für den nötigen Trainingsreiz sorgen.

Gerade im Leistungssport können auch kleine Trainingseffekte von Bedeutung sein. Oftmals unterscheiden geringe Unterschiede der Leistung von AthletInnen über Sieg oder Niederlage. Überdies kann das relativ kurz dauernde Vibrationstraining auch bei Zeitmangel gut in den intensiven Trainingsalltag von SpitzensportlerInnen integriert werden sowie Plateauphasen und Langeweile beim Training bekämpfen (Kaeding, 2016).

Obwohl es Berichte über schädigende Wirkungen von Schwingungen auf den menschlichen Körper gibt, stellt Vibrationstraining insgesamt eine sichere Trainingsmethode dar. Trotzdem sollte bei Anwendung des Vibrationstraining im Leistungssport ein besonderes Augenmerk auf den Sicherheitsaspekt gelegt werden. Insbesondere bei der Anwendung höherer Trainingsintensitäten bzw. längerer Trainingsperioden ist ein engmaschiges Monitoring zu empfehlen (Cochrane, 2011; Wilcock et al. 2009).

Nach Durchsicht der Literatur bei der Erstellung dieser Arbeit fiel auf, dass eine vergleichsweise geringe Zahl an längerfristigen Studien bei der Onlinerecherche gefunden werden konnte. Um die langfristigen Effekte des Ganzkörpervibrationstraining im Leistungssport einschätzen zu können, wären weitere Studien, die sich mit den chronischen Auswirkungen beschäftigen wünschenswert.

Außerdem wäre bei weiteren Forschungsarbeiten eine detailliertere Protokollierung der Trainingsregimes von Nutzen, um Trainingsempfehlungen und Trainingsprogramme für einzelne Sportarten im Elitesport abgeben zu können.

6 Literaturverzeichnis

- Abercromby, A. F. J., Amonette, W. E., Layne, C. S., McFarlin, B. K., Hinman, M. R., Paloski, W. H. (2007a). Variation in neuromuscular responses during acute whole-body vibration exercise. *Med Sci Sports Exerc* 39(9), 1642–1650. doi:10.1249/mss.0b013e318093f551
- Abercromby, A. F. J., Amonette, W. E., Layne, C. S., McFarlin, B. K., Hinman, M. R., Paloski, W. H. (2007b). Vibration exposure and biodynamic responses during whole-body vibration training. *Med Sci Sports Exerc* 39(10), 1794–1800. doi:10.1249/mss.0b013e3181238a0f
- Breuer, H. (1989). *Taschenatlas Physik für Mediziner*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Bullock, N., Martin, D. T., Ross, A., Rosemond, C. D., Jordan, M. J., Marino, F. E. (2008). Acute effect of whole-body vibration on sprint and jumping performance in elite skeleton athletes. *J Strength Cond Res* 22(4), 1371–1374. doi: 10.1519/JSC.0b013e31816a44b5.
- Cardinale, M & Bosco, C. (2003). The use of vibration as an exercise intervention. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 31 (1), 3-7. Doi:
- Cardinale, M., Wakeling, J. (2005). Whole body vibration exercise: are vibrations good for you? *Br J Sports Med* 39, 585–589. doi: 10.1136/bjsm.2005.016857.
- Cloak, R., Lane, A., Wyon, M. (2016a). Professional Soccer Player Neuromuscular Responses and Perceptions to Acute Whole Body Vibration Differ from Amateur Counterparts. *J Sports Sci Med* 15(1), 57-64.
- Cloak, R., Nevill, A., Wyon, M. (2016b). The acute effects of vibration training on balance and stability amongst soccer players. *Eur J Sport Sci* 16(1), 20-26. doi: 10.1080/17461391.2014.973912.
- Cochrane, D. J. (2011). Vibration Exercise: The Potential Benefits. *Int J Sports Med* 32(2), 75-99. doi: 10.1055/s-0030-1268010.

- Cochrane, D. (2013). The sports performance application of vibration exercise for warm-up, flexibility and sprint speed. *Eur J Sport Sci* 13(3), 256-271. doi: 10.1080/17461391.2011.606837.
- Crewther, B., Cronin, J., Keogh, J. (2004). Gravitational forces and whole body vibration: implications for prescription of vibratory stimulation. *Phys Ther Sport* 5(1), 37-43. doi: 10.1016/j.ptsp.2003.11.004.
- Cronin, J. B., Oliver, M. & McNair, P. J. (2004). Muscle stiffness and injury effects of whole body vibration. *Phys Ther Sport* 5(2), 68-74. doi: 10.1016/j.ptsp.2004.01.004.
- Despina, T., George, D., George, T., Sotiris, P., Alessandra, D. C., George, K., Maria, R., Stavros, K. (2014). Short-term effect of whole-body vibration training on balance, flexibility and lower limb explosive strength in elite rhythmic gymnasts. *Hum Mov Sci* 33, 149–158. doi: 10.1016/j.humov.2013.07.023.
- Di Giminiani, R., Tihanyi, J., Safar, S., Scrimaglio, R. (2009). The effects of vibration on explosive and reactive strength when applying individualized vibration frequencies. *J Sports Sci* 27(2), 169-177.
- Dolny, D. G. & Reyes, F. C. (2008). Whole Body Vibration Exercise: Training and Benefits. *Curr Sports Med Rep* 7(3), 152-157. doi: 10.1097/01.CSMR.0000319708.18052.a1.
- Fernandez-Rio, J., Terrados, N., Fernandez-Garcia, B., Suman, O. E. (2010). Effects of vibration training on force production in female basketball players. *J Strength Cond Res* 24(5), 1373–1380. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181d1d2b1.
- Hortobágyi, T., Rider, P., Devita, P. (2014). Effects of real and sham whole-body mechanical vibration on spinal excitability at rest and during muscle contraction. *Scand J Med Sci Sports* 24(6), e436–e447. doi: 10.1111/sms.12219.
- Hortobágyi, T., Lesinski, M., del Olmo, M. F., Granacher, U. (2015). Small and inconsistent effects of whole body vibration on athletic performance: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Appl Physiol* 115, 1605–1625. Doi: 10.1007/s0042101531949.

ISO (1997) 2361-1. In: Organization IS (ed) Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole body vibration. Geneva, Switzerland

Issurin, V. B. (2005). Vibrations and their applications in sport. A review.

J Sports Med Phys Fitness 45, 324–336. Zugriff am 24. August 2019 unter

http://comfitsolutions.com/yahoo_site_admin/assets/docs/WBV_-_Sports.13002323.pdf

Jacobson, B. H., Monaghan, T. P., Sellers, J. H., Conchola, E. C., Pope, Z. K., Glass, R. G. (2017). Acute Effect of Biomechanical Muscle Stimulation on the Counter-Movement Vertical Jump Power and Velocity in Division I Football Players. *J Strength Cond Res* 31(5), 1259-1264. doi: 10.1519/JSC.0000000000001136.

Jordan, M. J., Norris, S. R., Smith, D. J. & Herzog, W. (2005). Vibration Training: An Overview Of The Area, Training Consequences, And Future Considerations. *J Strength Cond Res* 19(2), 459-466. doi: 10.1519/13293.1.

Kaeding, T. S. (2016). Vibrationstraining ein praxisorientiertes Handbuch. Schorndorf: Hofmann-Verlag.

Kurt, C., Pekünlü, E. (2015). Acute effect of whole body vibration on isometric strength, squat jump, and flexibility in well-trained combat athletes. *Biol Sport* 32(2), 115-22. doi: 10.5604/20831862.1134558.

Lam, F. M. H. , Lau, R. W. K., Chung, R. C. K. & Pang, M. Y. C. (2012). The effect of whole body vibration on balance, mobility and falls in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Maturitas* 72(3), 206-213. doi:10.1016/j.maturitas.2012.04.009.

Luo, J., McNamara, B. & Moran, K. (2005). The Use of Vibration Training to Enhance Muscle Strength and Power. *Sports Med* 2005, 35(1), 23-41. doi:10.2165/00007256-200535010-00003.

Maher, C. G., Sherrington, C., Herbert, R. D., Moseley, A. M., Elkins, M. (2003). Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther* 83, 713–721. Zugriff am 24. August 2019 unter <https://academic.oup.com/ptj/article/83/8/713/2805287>

- Manimmanakorn, N., Hamlin, M. J., Ross, J. J., Manimmanakorn, A. (2014). Long-term effect of whole body vibration training on jump height: meta-analysis. *J Strength Cond Res* 28(6), 1739–1750. doi: 10.1519/JSC.0000000000000320.
- Marin, P. J. & Rhea, M. R. (2010a). Effects of Vibration Training on Muscle Power: A Meta-Analysis. *J Strength Cond Res*, 24 (3), 871-878. doi:10.1519/JSC.0b013e3181c7c6f0.
- Marin, P. J. & Rhea, M. R. (2010b). Effects of Vibration Training on Muscle Strength: A Meta-Analysis. *J Strength Cond Res*, 24 (2), 548-556. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c09d22.
- Marin, P. J., Bunker, D., Rhea, M. R. & Ayllon, F. N. (2009). Neuromuscular Activity During Whole-Body Vibration of Different Amplitudes and Footwear Conditions: Implications for Prescription of Vibratory Stimulation. *J Strength Cond Res* 23(8), 2311-2316. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b8d637.
- Mester, J., Kleinöder, H., Yue, Z. (2006). Vibration training: benefits and risks. *J Biomech* 39, 1056–1065. doi:10.1016/j.jbiomech.2005.02.015.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., The PRISMA Group (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med* 6(7), e1000097. doi:10.1371/journal.pmed1000097
- Naclerio, F., Faigenbaum, A. D., Larumbe-Zabala, E., Ratamess, N. A., Kang, J., Friedman, P., Ross, R. E. (2014). Effectiveness of different post- activation potentiation protocols with and without whole body vibration on jumping performance in college athletes. *J Strength Cond Res* 28(1), 232–239. doi: 10.1519/JSC.0b013e318295d7fb.
- Nazarov, V, Spivak, G. (1985). Development of athlete's strength abilities by means of biomechanical stimulation method. *Theory Prac Phys Culture* 12, 445-450.
- Nordlund, M. M., Thorstensson, A. (2007). Strength training effects of whole-body vibration? *Scand J Med Sci Sports* 17, 12–17. doi: 10.1111/j.1600-0838.2006.00586.x.

- Oliveira, M. P., Cochrane, D., Drummond, M. D. M., Albuquerque, M. R., Almeida, P. A. S., Couto, B. P. (2018). No acute effect of whole-body vibration on Roundhouse kick and countermovement jump performance of competitive Taekwondo athletes. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum* 20(6), 576-584. doi: 10.5007/1980-0037.2018v20n6p576.
- Padulo, J., Di Giminiani, R., Ibba, G., Zarrouk, N., Moalla, W., Attene, G., Migliaccio, G. M., Pizzolato, F., Bishop, D., Chamari, K. (2014). The acute effect of whole body vibration on repeated shuttle-running in young soccer players. *Int J Sports Med* 35(1), 49–54. doi: 10.1055/s-0033-1345171.
- Pérez-Turpin J.A., Zmijewski P., Jimenez-Olmedo J.M., Jové-Tossi M.A., Martínez-Carbonell A., Suárez-Llorca C., Andreu-Cabrera, E. (2014). Effects of Whole Body Vibration on strength and jumping performance in volleyball and beach volleyball players. *Biol Sport*. 31(3)239-45. doi: 10.5604/20831862.1112435.
- Rauch, F., Sievanen, H., Boonen, S., Cardinale, M., Degens, H., Felsenberg, D., Roth, J., Schoenau, E., Verschueren, S., Rittweger, J. (2010). Reporting whole-body vibration intervention studies: recommendations of the International Society of Musculoskeletal and Neuronal Interactions. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 10(3), 193–198. Zugriff am 19. August 2019 unter <https://www.ismni.org/jmni/pdf/41/02RECOMMENDATIONS.pdf>
- 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 and Science in Sports*, 17, 2-11. doi: 10.1111/j.1600-0838.2006.00578.x.
- Rittweger, J. (2010). Vibration as an exercise modality: how it may work, and what its potential might be. *Eur J Appl Physiol* 108(5), 877–904. doi: 10.1007/s00421-009-1303-3.
- Rittweger, J., Beller, G., Felsenberg, D. (2000). Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin Physiol* 20(2), 134-142. doi: 10.1046/j.1365-2281.2000.00238.x.
- Rønnestad, B. R., Ellefsen, S. (2011). The effects of adding different whole-body vibration frequencies to preconditioning exercise on subsequent sprint performance. *J Strength Cond Res* 25(12), 3306–3310. doi: 10.1519/JSC.0b013e318215f298.

- Rønnestad, B. R., Holden, G., Samnøy, L. E., Paulsen G. (2012). Acute effect of whole-body vibration on power, one-repetition maximum, and muscle activation in power lifters. *J Strength Cond Res* 26(2), 531–539. doi: 10.1519/JSC.0b013e318220d9bb.
- Rønnestad, B. R., Slettalokken, G., Ellefsen, S. (2016). Adding whole body vibration to preconditioning exercise increases subsequent on-ice sprint performance in ice-hockey players. *J Strength Cond Res* 30(4), 1021-1026. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182a9535a.
- Rønnestad, B. R., Moen, M., Gunnerød, S., Øfsteng, S. (2018). Adding vibration to high-intensity intervals increase time at high oxygen uptake in well-trained cyclists. *Scand J Med Sci Sports* 28(12), 2473-2480. doi: 10.1111/sms.13277.
- Suarez-Arrones, L., Tous-Fajardo, J., Nunez J., Gonzalo-Skok, O., Galvez, J., Mendez-Villanueva, A. (2014). Concurrent repeated-sprint and resistance training with superimposed vibrations in rugby players. *Int J Sports Physiol Perform* 9(4), 667–673 doi: 10.1123/ijsp.2013-0238.
- Wang, H. H., Chen, W. H., Liu, C., Yang, W. W., Huang, M. Y., Shiang, T. Y. (2014). Whole-body vibration combined with extra-load training for enhancing the strength and speed of track and field athletes. *J Strength Cond Res* 28(9), 2470–2477. doi: 10.1519/JSC.0000000000000437.
- Wilcock, I. M., Whatman, C., Harris, N., Keogh, J. W. (2009). Vibration training: could it enhance the strength, power, or speed of athletes? *J Strength Cond Res*, 23(2), 593–603. doi: 10.1519/JSC.0b013e318196b81f

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Harmonische Schwingung einer Vibrationsplatte (Rauch et al., 2010)	15
Abbildung 2: Darstellung der beiden Vibrationsübertragungsprinzipien (Rittweger, 2010)	17
Abbildung 3: Galileo® Fit Extreme vgl. www.galileo-training.com	19
Abbildung 4: Power Plate Pro5Plus® vgl. www.powerplate.de	19
Abbildung 5: Nemes® vgl. www.kiromkinetic.it/pedana_vibrante.html	20
Abbildung 6: Swiss TTP BMR 2100 vgl. www.swissttp.com/	20
Abbildung 7: Unterschiedliche Fußposition auf einer seitenalternierenden Platte (Galileo®) mit entsprechender peak-to-peak Amplitude (Cochrane, 2011).....	22
Abbildung 8: Stehende Grundhaltung bei AnfängerInnen (links) und Fortgeschrittenen (rechts) (Kaeding, 2016).....	25
Abbildung 9: Einbeinstand Anfänger, Fortgeschritten (Kaeding, 2016).....	26
Abbildung 10: Viertel Kniebeuge Startposition, Endposition (Kaeding, 2016).....	26
Abbildung 11: Halbe Kniebeuge Startposition, Endposition (Kaeding, 2016).....	27
Abbildung 12: Tiefe Kniebeuge Startposition, Endposition (Kaeding, 2016)	28
Abbildung 13: Adaptiertes PRISMA Flussdiagramm (Moher et al., 2009)	49
Abbildung 14: Isometrische Übungen der Studie (Kurt & Pekünlü, 2015)	57
Abbildung 15: Übersicht der Intervention (Rønnestad et al. 2016)	60
Abbildung 16: Trainingspositionen auf der Vibrationsplattform (Wang et al., 2014)	61

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vor- und Nachteile vertikal schwingender Geräte (Kaeding, 2016).....	18
Tabelle 2: Vor- und Nachteile seitenalternierend schwingender Geräte (Kaeding, 2016)..	18
Tabelle 3: Galileo® Fit Extreme.....	19
Tabelle 4: Power Plate Pro5Plus®.....	19
Tabelle 5: Nemes®.....	20
Tabelle 6: Übersicht akuter und chronischer Effekte von Vibrationstrainingsmethoden (Kaeding, 2016)	34
Tabelle 7: Übersicht über vom Hersteller angegebene Kontraindikationen (vgl. Kaeding, 2016):.....	40
Tabelle 8: Übersicht der Ein- und Ausschlusskriterien zur Studienauswahl.....	45
Tabelle 9: Übersicht der Studien die akute Auswirkungen des Ganzkörpervibrationstraining untersuchen.....	51
Tabelle 10: Übersicht der Studien die chronische Auswirkungen des Ganzkörpervibrations training untersuchen.....	54
Tabelle 11: Übersicht der Studienprotokolle (Naclerio et al., 2014)	58
Tabelle 12: Trainingsprotokolle der drei Gruppen (Wang et al., 2014).....	62
Tabelle 13: Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Skala der inkludierten Studien.....	65
Tabelle 14: Akute Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Kraft von Spitzen- und LeistungssportlerInnen.....	68
Tabelle 15: Akute Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Schnellkraft von Spitzen- und LeistungssportlerInnen.....	69
Tabelle 16: Akute Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Gleichgewichtsfähigkeit von Spitzen- und LeistungssportlerInnen.....	71
Tabelle 17: Akute Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Beweglichkeit von Spitzen- und LeistungssportlerInnen.....	72
Tabelle 18: Akute Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Geschwindigkeit von Spitzen- und LeistungssportlerInnen.....	73
Tabelle 19: Chronische Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Kraft von Spitzen- und LeistungssportlerInnen.....	74
Tabelle 20: Chronische Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Schnellkraft von Spitzen- und LeistungssportlerInnen.....	75
Tabelle 21: Chronische Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Geschwindigkeit von Spitzen- und LeistungssportlerInnen.....	76

Eidesstattliche Erklärung

„Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst habe und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde weder an einer anderen Stelle eingereicht (z. B. für andere Lehrveranstaltungen) noch von anderen Personen (z. B. Arbeiten von anderen Personen aus dem Internet) vorgelegt.“

Wien, im Jänner 2020

Dipl.–Tzt. Dr. med.-vet. Karin Hof