

**Aus der  
Radiologischen Klinik und Poliklinik  
der Freien Universität Berlin im  
Charité Campus Benjamin Franklin  
Leiter: Prof. Dr. med. Karl-Jürgen Wolf  
Leiter des Zentrum für Muskel- und Knochenforschung:  
Prof. Dr. med. Dieter Felsenberg**

**Vergleich von konventionellem – und vibrationsgestütztem  
Krafttraining bei jungen, gesunden Probanden**

Untertitel:

Prüfung der Effektivität eines gezielten Krafttrainings mit Galileo 2000 in Bezug auf die Maximalkraft- und Sprunghöhenentwicklung bei untrainierten Probanden im Vergleich zum konventionellen Krafttraining

Inaugural – Dissertation  
zur  
Erlangung der medizinischen Doktorwürde  
des Fachbereiches Humanmedizin  
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von  
Janine Ramolla  
aus Berlin

Referent: Prof. Dr. med. D. von Felsenberg

Koreferent: Prof. Dr. med. D. Böring

Promoviert am: 17. Dezember 2004

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1. Einleitung</b>	4
<b>1.1 Wissenschaftliche Grundlagen und Stand der Forschung im Bereich der Muskel und Knochenphysiologie sowie der Trainingslehre</b>	6
1.1.1 Grundlagen zur Muskulatur und deren Arbeitsformen, sowie die spezifischen Veränderungen des Muskels unter Einfluss von Krafttraining	6
1.1.1.1 Aufbau der Muskulatur	6
1.1.1.2 Neurophysiologische Grundlagen der Muskelkontraktion	7
1.1.1.3 Fasertypen der Skelettmuskulatur	7
1.1.1.4 Das Längen-Spannungs-Kontrollsystem im Muskel	9
1.1.1.5 Statische und dynamische Arbeitsform	10
1.1.1.6 Definition der Maximalkraft	11
1.1.1.7 Krafttrainingspezifische Veränderungen der Muskulatur	12
1.1.2 Grundlagen zur Knochenphysiologie	14
1.1.2.1 Die Frost'sche Lehre	14
1.1.3 Grundlagen der Trainingslehre	16
1.1.3.1 Allgemeine Trainingsprinzipien	16
1.1.3.2 Unterscheidung der Trainingsmethoden mit Hervorhebung des progressiv dynamischen Krafttrainings	17
1.2 Zielsetzung der Studie	18
<b>2. Probanden und Methoden</b>	19
2.1 Studiendesign	19
2.2 Das Probandenkollektiv	19
2.2.1 Rekrutierung	19
2.2.2 Antropometrische Daten der Studienteilnehmer	20
2.2.3 Einschlussverfahren	20
2.2.4 Ausschlusskriterien	20
2.3 Galileo 2000 als Trainingsgerät	22
2.4 Studienablauf	23
2.4.1 Trainingsgestaltung mit Galileo 2000	25
2.4.2 Trainingsgestaltung des konventionellen Krafttrainings	26
2.4.3 Trainingsgestaltung der Kontrollgruppe	27
2.5 Zeitlicher Ablauf einer Trainings- und Messeinheit	27
2.6 Maximalkraftmessung mit dem Momentstuhl	28
2.6.1 Gerätebeschreibung und Anwendung	28
2.6.2 Ablauf einer Messeinheit mit dem Momentstuhl	29
2.7 Messung der Sprunghöhe	29
2.7.1 Sprunghöhenregistrierung mittels einer Sprungmatte	29
2.7.2 Durchführung einer Sprunghöhenmessung	29
2.8 Statistische Auswertung der Maximalkraftwerte	30
2.8.1 Berechnung des Variationskoeffizienten zur Bestimmung der Reproduzierbarkeit der Maximalkraftwerte für alle vier Extremitäten jedes Probanden	30
2.8.2 Berechnung der Gesamtproduzierbarkeit der Maximalkraftwerte für alle vier Extremitäten	30
2.8.3 Korrelation zwischen den Maximalkraftwerten zu Beginn und am Ende der Trainingszeit für alle Extremitäten	30
2.8.4 Berechnung der Signifikanz der Entwicklung der Maximalkraftwerte für die	30

einzelnen Gruppen	31
2.8.5 Berechnung des mittleren prozentualen Kraftzuwachses für alle Extremitäten in den einzelnen Gruppen	31
2.8.6 Prüfung auf signifikante Unterschiede der Kraftzuwachsrate der einzelnen Extremitäten zwischen den drei Gruppen	31
2.8.7 Prüfung auf signifikante Unterschiede der prozentualen Kraftzuwachsrate der einzelnen Extremitäten zwischen den beiden Trainingsgruppen	32
2.8.8 Gruppenvergleich der Maximalkraftwerte zum Beginn und zum Ende der Trainingszeit, sowie der mittleren prozentualen Veränderung	32
2.9 Statistische Auswertung der Sprunghöhenmessungen	32
2.9.1 Berechnung des Variationskoeffizienten zur Bestimmung der Reproduzierbarkeit der Sprunghöhen für die einzelnen Probanden	32
2.9.2 Berechnung der Gesamtproduzierbarkeit für die Sprunghöhe	33
2.9.3 Berechnung der prozentualen Zuwachsrate der Sprunghöhe für jeden einzelnen Probanden im Zeitverlauf	33
2.9.4 Berechnung der mittleren Sprunghöhenzunahme für die einzelnen Gruppen	33
2.9.5 Berechnung der Signifikanz der Sprunghöhenzunahme in den einzelnen Gruppen	33
2.9.6 Prüfung auf signifikante Unterschiede der Sprunghöhenzunahme in den drei Gruppen	34
2.9.7 Vergleich der prozentualen Veränderung der Sprunghöhenwerte beider Trainingsgruppen auf signifikante Unterschiede	34
<b>3. Ergebnisteil</b>	<b>35</b>
3.1 Ergebnisteil der Maximalkraftauswertung	35
3.1.1 Grafische Darstellung der Maximalkraftwerte aller Extremitäten im zeitlichen Verlauf jedes Probanden	35
3.1.2 Übersicht der Variationskoeffizienten für alle vier Extremitäten jedes Probanden	44
3.1.3 Darstellung der Gesamtproduzierbarkeit der Maximalkraftwerte	44
3.1.4 Korrelation zwischen den mittleren Maximalkraftwerten zu Beginn und zum Ende der Trainingszeit für alle vier Extremitäten	45
3.1.5 Signifikanz der Kraftentwicklung für alle vier Extremitäten in den drei Gruppen	48
3.1.6 Darstellung des mittleren Kraftzuwachses aller vier Extremitäten in den drei Gruppen	49
3.1.7 Signifikanz der Unterschiede in der Kraftentwicklung für die einzelnen Extremitäten zwischen den drei Gruppen	50
3.1.8 Signifikanz der Unterschiede des prozentualen Kraftzuwachses für die einzelnen Extremitäten zwischen den beiden Trainingsgruppen	50
3.1.9 Gruppenvergleich der Maximalkraftwerte zum Beginn und zum Ende der Trainingszeit, sowie der mittleren prozentualen Veränderung	51
3.2 Ergebnisteil der Sprungauswertung	51
3.2.1 Grafische Darstellung der Sprunghöhenwerte im zeitlichen Verlauf jedes Probanden	52
3.2.2 Übersicht der Variationskoeffizienten für die Sprunghöhenwerte jedes Probanden	61
3.2.3 Darstellung der Gesamtproduzierbarkeit der Sprunghöhenwert	61
3.2.4 Darstellung der prozentualen Zuwachsrate der Sprunghöhe für jeden Probanden im Zeitverlauf	62
3.2.5 Darstellung des mittleren Sprunghöhenzuwachses in den drei Gruppen	65

3.2.6	Signifikanz der Sprunghöhenentwicklung in den drei Gruppen	65
3.2.7	Vergleich der Sprunghöhenzunahme in den drei Gruppen auf signifikante Unterschiede	65
3.2.8	Vergleich der prozentualen Veränderung der Sprunghöhenwerte beider Trainingsgruppen auf einen signifikanten Unterschied	66
3.2.9	Gruppenvergleich der Sprunghöhe zum Beginn und zum Ende der Trainingszeit	66
<b>4.</b>	<b>Diskussion</b>	67
4.1	Diskussion und Interpretation der Ergebnisse bezüglich der Maximalkraft	67
4.2	Diskussion und Interpretation der Ergebnisse bezüglich der Sprunghöhenentwicklung	71
4.3	Diskussion und Interpretation weiterer aktueller Studienergebnisse und verschiedener Gesichtspunkte zum Thema Vibrationstraining	72
4.4	Resümee	79
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	80
<b>6.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	82

# 1. Einleitung

In den letzten Jahren ist der Einsatz von Vibrationen im Leistungs- und Breitensport sowie in der Prävention und Rehabilitation Gegenstand zahlreicher Studien geworden. Bei diesem Prinzip geht es um die Übertragung mechanischer Vibrationen auf des neuromuskuläre System. Die Schwingungsamplituden sowie die Frequenzbereiche unterliegen hierbei einer großen Streubreite. Bereits 1943 beschrieb der österreichische Neurophysiologen Rohracher das Phänomen der Muskeleigenfrequenz. Nach seinen Untersuchungen finden innerhalb der Muskulatur stetig unwillkürliche Mikrovibrationen statt, welche zu Schwingungsprozessen an den dazugehörigen Sehnen führen. Sowohl bei Muskelaktivität, als auch in Ruhe, ist eine Eigenfrequenz nachweisbar. Nicht nur die Muskulatur, sondern sämtliche Organe weisen diese Eigenfrequenzen auf (Augen ca. 20 Hz, innere Organe ca. 8 Hz, Wirbelsäule ca. 8 Hz, Muskulatur ca. 7-15 Hz Gehirn ca. 18 Hz. Inwieweit von außen angewandte Vibrationen sich positiv oder negativ auf den Organismus auswirken, wurde in den letzten Jahrzehnten immer wieder diskutiert.

Ende der 70er Jahre entwickelte der Russe Prof. Vladimir Nazarov das System der Biomechanischen Stimulation der Muskulatur. Er setzte seine Methoden vorwiegend im Spitzensport zur Verbesserung der Dehnbarkeit und zur Steigerung der Kraftentfaltung ein. Weitere Anwendungsgebiete umfaßten die Muskellockerung und Rehabilitation nach Verletzungen. Unter dem stetigen Druck der Spitzensportler ihre Leistung fortwährend zu verbessern bzw. einen größtmöglichen Effekt zu erzielen wurde das Vibrationstraining unter Berücksichtigung der beträchtlichen Erfolge Nazarovs wiederbelebt. Es folgten Studien u.a. von Issurin, Bosco, Schlumenberger, Schlitter, Felsenberg, Schiessel, Runge et.al. . Die Ergebnisse der Autoren waren aufgrund unterschiedlicher Methodik nicht immer eindeutig vergleichbar und dennoch kam es in der Vergangenheit zu klar widersprüchlichen Resultaten. Im Rahmen des Galileo 2000 Projektes wird ein modernes Vibrationstraining einem konventionellen Krafttraining in Hinblick auf die Entwicklung der Maximalkraft und der Knochenfestigkeit gegenübergestellt. Die beiden Untersuchungsparameter weisen eine enge Verknüpfung miteinander auf. Bereits 1892 erkannte der Berliner Arzt Julius Wolf, daß die Menge an Knochensubstanz, sowie auch deren Verteilung im Raum der mechanischen Beanspruchung des Knochens entspricht (Gesetz von der Transformation des Knochens).

Folglich ist nicht die Schonung, sondern vielmehr das stetige gezielte Training eine wichtige Prävention für den Erhalt der Knochendichte . Die muskuläre Kraft, welche auf den Knochen einwirkt ist hierbei der größte Stimulus für seinen Aufbau und den Erhalt seiner Festigkeit.

Damit kommt dem Zusammenspiel zwischen Muskularbeit/Leistung und Modulation der Knochen eine bedeutende Rolle zu.

Folgt man diesen Gedanken, ergibt sich die Möglichkeit mit Hilfe einer zielgerichteten Muskeltätigkeit die erforderliche mechanische Beanspruchung zu erzeugen, welche die Festigung der Knochensubstanz moduliert.

Inwieweit ein Vibrationstraining die Muskulatur und damit die zugehörige Knochendichte im Vergleich zu einem konventionellem Krafttraining anders beeinflusst, ist Gegenstand dieser Studie.