

---

Aus dem Arbeitsbereich für Physikalische Medizin und Rehabilitation der Medizinischen  
Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**„Vibrationstraining zur Therapie des Lipödems der Beine“**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Dana Schwarze  
aus Berlin

2011

---

Gutachter: 1. Prof. Dr. med. G. Riemekasten  
2. Prof. Dr. med. Chr. Gutenbrunner  
3. Prof. Dr. med. U.C. Smolenski

Datum der Promotion: 07.09.2012

---

Meiner Mama und meinem Papa in tiefer Dankbarkeit

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>7</b>
<b>2. Aufgabenstellung</b> .....	<b>10</b>
<b>3. Grundlagen</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1 Das Lipödem</b> .....	<b>11</b>
3.1.1 Ätiologie .....	11
3.1.2 Pathophysiologie .....	11
3.1.3 Klinik .....	13
3.1.4 Diagnostik .....	15
3.1.5 Differentialdiagnosen .....	16
3.1.6 Therapie .....	17
<b>3.2 Wirkung von Vibrationen auf das neuromuskuläre System und deren     Möglichkeit der Trainingsanwendung</b> .....	<b>20</b>
<b>4. Studiendesign, Probanden und Methoden</b> .....	<b>23</b>
<b>4.1 Studiendesign</b> .....	<b>23</b>
<b>4.2 Probanden</b> .....	<b>24</b>
<b>4.3 Methoden</b> .....	<b>27</b>
4.3.1 Sechs-Minuten-Gehtest (six minutes walking test, 6MWT) .....	27
4.3.2 Dolorimeter .....	27
4.3.3 Dual-Röntgen-Absorptiometrie (DXA – dual x-ray-absorptiometry) .....	28
4.3.4 Perometer .....	31
4.3.5 Galileotraininggerät – Erzeugung von Ganzkörpervibrationen .....	32
4.3.6 Galileotraining (Vibrationstraining) .....	34
4.3.7 Beinmuskeltraining .....	35
4.3.8 Fragebögen .....	36
4.3.9 Statistik .....	37
<b>5. Ergebnisse</b> .....	<b>39</b>
<b>5.1 Die klinischen Untersuchungen</b> .....	<b>39</b>
5.1.1 Sechs-Minuten-Gehtest .....	39
5.1.2 Dolorimetermessung .....	42
5.1.3 DXA-Untersuchung .....	48
5.1.4 Perometermessung .....	52
<b>5.2 Fragebogenauswertung</b> .....	<b>55</b>
5.2.1 Lymphdrainage .....	55
5.2.2 Kompressionsstrümpfe .....	55
5.2.3 Familiäre Häufung des Lipödems .....	56
5.2.4 Subjektive Einschätzung der Schmerzen, Schwellung, Hämatomneigung und Mobilität .....	57
5.2.5 Sportliche Aktivität .....	64
5.2.6 Training .....	65
5.2.7 Subjektive Trainingsbewertung .....	67
<b>6. Diskussion</b> .....	<b>69</b>
<b>6.1 Sechs-Minuten-Gehtest</b> .....	<b>69</b>
<b>6.2 Dolorimetermessung</b> .....	<b>71</b>

<b>6.3 Die DXA-Untersuchung .....</b>	<b>74</b>
<b>6.4 Volumenveränderung.....</b>	<b>77</b>
<b>6.5 Training .....</b>	<b>80</b>
6.5.1 Beinmuskeltraining .....	80
6.5.2 Vibrationstraining.....	80
<b>6.6 Einfluss des Vibrationstrainings auf die Veränderung der Körperzusammensetzung .....</b>	<b>83</b>
<b>6.7 Fragebögen.....</b>	<b>85</b>
<b>6.8 Studiendesign .....</b>	<b>93</b>
<b>7. Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>95</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>109</b>
<b>Abbildungen.....</b>	<b>109</b>
<b>Trainingsprogramme .....</b>	<b>113</b>
Übungsheft Beinmuskeltraining.....	113
Galileotrainingsübungen .....	114
<b>Fragebögen.....</b>	<b>115</b>
Rekrutierungsfragebogen .....	115
Trainingsfragebögen.....	116
Fragebögen zur U1 .....	117
Fragebögen zur U2 .....	118
Fragebögen zur U3 .....	119
<b>Untersuchungs- und Messbögen .....</b>	<b>120</b>
Gehtest.....	120
Dolorimetermessbogen.....	121
DXA-Untersuchungsexemplar .....	122
Perometerexemplar.....	123

**Abkürzungsverzeichnis**

Abb.	-	Abbildung
BMC	-	bone mineral content (Knochenmineralgehalt)
BMD	-	bone mineral density (Knochenmineraldichte)
BMI	-	Bodymaß-Index
BMS	-	biomechanische Stimulation
BWS	-	Brustwirbelsäule
CT	-	Computertomographie
DXA	-	dual-energy x-ray absorptiometry (Duale-Energie-Absorptiometrie)
EMG	-	Elektromyografie
FMI	-	Fettmassen-Index
Hz	-	Hertz
keV	-	Kilo-Elektronenvolt
KPE	-	komplexe physikalische Entstauungstherapie
MER	-	Muskeleigenreflex (tiefer Sehnenreflex)
min	-	Minuten
MRT	-	Magnetresonanztomografie
MW	-	Mittelwert
NRS	-	numeric rating scale (numerische Einschätzungsskala)
Qu	-	untere / 3. Quartil (25%)
Qo	-	obere / 1. Quartil (75%)
R-Wert	-	Massenabschwächungskoeffizient der Elemente zwischen 40 und 70 keV
RPE	-	ratings of perceived exertion (Skala zur Einschätzung der wahrgenommenen Kraftanstrengung)
SAL	-	Saug-assistierte Liposuktion
SD	-	standard deviation (Standardabweichung)
6MWT	-	six minute walking test (Sechs-Minuten-Gehtest)
Tab.	-	Tabelle
TEP	-	Total-Endo-Prothese
U1/2/3	-	Untersuchungszeiträume 1/2/3
UAL	-	Ultraschall-assistierte Liposuktion
WBV	-	whole body vibration (Ganzkörpervibrationen)
WAL	-	Wasserstrahl-assistierte Liposuktion

## 1. Einleitung

Der Fettanteil des weiblichen Körpers liegt bei einem normalen Bodymaß-Index (BMI) zwischen 20 % und 35 %, der des männlichen Körpers hingegen nur bei ca. 8 % bis 23 % Fett. [1] Der Fettanteil der Körperzusammensetzung variiert in den verschiedenen ethnischen Gruppen und steigt geringfügig im Alter an. [1] Des Weiteren lassen sich geschlechtsspezifische Orte der Fettablagerung finden. [1] Frauen lagern das Fett subkutan in den unteren Extremitäten sowie in der Glutealregion ab. [1] [2] [3] Im Gegensatz dazu neigen Männer eher zu einer viszeralen Fettablagerung im Abdomen. [1] [2] [3]

Es existieren eine Reihe von Erkrankungen, die mit einer ungewöhnlichen Fettverteilung einhergehen. Hierzu zählen unter anderem das polyzystische Ovarialsyndrom, das Cushing-Syndrom sowie ein Defizit des Wachstumshormons. [1] Zu den bekanntesten unsymmetrischen Fettgewebsvermehrungen im Körper gehört das Lipom. [1] Die Adipositas auf der anderen Seite stellt den bekanntesten Vertreter der symmetrischen Fettablagerungen dar. [1] Ebenfalls zu den symmetrischen Fettverteilungsstörungen gehört die weitaus seltener auftretende Lipödemerkrankung. [1]

Das Lipödem ist eine Erkrankung, die erstmals 1940 durch Allen und Hines in der Mayo-Klinik in Rochester, Minnesota (USA) beschrieben wurde. [4] [5] Es handelt sich hierbei um eine bilaterale, symmetrische, progrediente, schmerzhafte, pathologische Vermehrung des Fettgewebes vor allem in den unteren Extremitäten sowie dem Gesäß. [6] [7] Neben dem Berührungs- und Druckschmerz ist die Erkrankung durch eine Hämatomneigung gekennzeichnet. [8] [9] Im weiteren Verlauf kann sich durch eine mechanische Insuffizienz des lymphatischen Systems zusätzlich zum Lipödem auch ein überlagerndes Lymphödem bilden, das als Lipolymphödem bezeichnet wird. [1] [6]

Das Lipödem tritt fast ausschließlich bei Frauen auf, abgesehen von einigen seltenen, in der Literatur erwähnten Erkrankungsfällen bei Männern, und entwickelt sich vor allem in der Pubertät. [4] [6] [8] Vermutlich leiden bis zu 11 % aller Frauen an dieser Erkrankung, wobei sich unterschiedliche Angaben in der Literatur dazu finden (8-17 %). [5] [10] In 97 % der Fälle sind die Beine betroffen, [10] bei ca. 30 % lassen sich zusätzlich ähnliche Veränderungen in den Armen finden. [11] Nur 3 % weisen ein Lipödem allein in den Armen auf. [10]

Die Lipödemerkrankung ist keine erst im 20. Jahrhundert aufgetretene Erkrankung. [5] Künstlerischen Darstellungen der frühen Menschheit wie die steinerne Statue der Großen Göttin in Malta von ca. 5.000 v. Chr. (Abb. 37) sowie ein Relief der Königin von Punt im ägyptischen Totentempel der Hatschepsut Ägypten von 3.500 v. Chr (Abb. 38) zeigen das Erscheinungsbild der „dicken Beine“. [5]

Es gibt, im Gegensatz zu den zahlreich durchgeführten Lymphödemstudien, nur eine kleine Anzahl von Studien, die sich mit der Lipödemerkrankung beschäftigen. Es lassen sich Studien zur Untersuchung dieser Erkrankung mittels Lymphangiografie, Lymphszintigrafie, Fluoreszenzmikrolymphangiografie, MRT, CT und Sonografie finden. Zu den typischen histologischen Befunden der Gewebeproben der Lipödempatienten zählen sowohl Mikroangiopathien [13], hyperplastische, hypertrophe und degenerierte Adipozyten [8], vermehrte Makrophagen, Fibroblasten und Mastzellen als auch vereinzelte Fettgewebnekrosen [5], sekundär bedingt durch eine mögliche Hypoxie. [13] Das gesamte Krankheitsbild gleicht dem „Endprodukt einer unspezifischen entzündlichen Gewebereaktion“. [5] Des Weiteren treten Veränderungen des Lymphsystems auf, wie etwa multiple mikrolymphatische Aneurysmen der Lymphkapillaren [11] [14] [15], geschlängelte Lymphkollektoren mit engen Lumen [6] und erweiterten prälymphatischen Räumen [16], welche bei einem jahrelang bestehenden Lipödem zur Ausbildung eines zusätzlichen Lymphödems beitragen können. [14] Eine 2010 veröffentlichte Studie konnte belegen, dass es sich beim Lipödem um eine genetische Erkrankung handelt, welche entweder x-chromosomal oder (wofür die Ergebnisse eher sprechen) geschlechtslimitierend autosomal-dominant vererbt wird. [12]

Trotz dieser Untersuchungen und deren Ergebnisse sind noch keine durchschlagenden Erfolge zur Aufklärung der genauen Pathogenese erzielt worden. Dies stellt das größte Problem bei der Suche nach neuen Therapiemöglichkeiten dar.

Die Behandlungsmöglichkeiten der Lipödemerkrankung sind derzeit noch sehr begrenzt. [6] Diäten, die Hochlagerung der Beine oder die Anwendung von Diuretika führen zu keinem Erfolg, bezogen auf die Volumenreduktion des diätresistenten Fettgewebes sowie der Linderung der Schmerzen. [6] [9] [14] Die Behandlung des Lipödems setzt sich derzeit aus zwei therapeutischen Anteilen zusammen, dem konservativen und dem operativen. [5] Zur konservativen Basistherapie bei der Behandlung des Lipödems zählt die komplexe physikalische Entstauungstherapie [17] [18], bestehend aus dem Tragen von Kompressionsstrümpfen bzw. dem Bandagieren der Beine, der manuellen Lymphdrainage und der Bewegungstherapie. [9]



Die Durchführung der komplexen Entstauungstherapie führt neben der Volumenreduktion und der Verbesserung des Lymphabflusses auch zur Verhinderung der Verschlechterung der Lymphsystemfunktion sowie zur Linderung der Beschwerden in den Beinen [5] [8] [9]. Klinische Studien zur weit verbreiteten Standardtherapie des Lipödems aus Kompression und manueller Lymphdrainage liegen noch nicht vor. [9]

Zur Möglichkeit der operativen Therapie zählt die Entfernung des Unterhautfettgewebes [5] mittels der vielfach kontrovers diskutierten Technik der Liposuktion. Die Liposuktion wurde um 1970 eingeführt [19] und stellt derzeit die einzige Methode dar, mit der durch die Absaugung eine Korrektur des Fettgewebes erfolgen kann. [9] Einige Autoren raten von der Liposuktion aufgrund der möglichen Komplikationen in Form von Nerven- und Lymphgefäßschädigungen ab und ziehen als Therapiemöglichkeit die Lymphdrainage und die Kompressionstherapie vor. [20] Ferner stehen Langzeitstudien zur Untersuchung der Langzeiteffekte der Anwendung der Liposuktion beim Lipödem noch aus.

Das Ziel der heutigen Behandlungsmöglichkeiten besteht vor allem in der Reduzierung der Adipositas bzw. der Beschwerden und in der Optimierung der Mobilität, um so die Lebensqualität zu verbessern. [9]

Sportangebote werden aufgrund der häufig mit der Erkrankung im Zusammenhang stehenden psychischen Belastung oft gemieden. Das Körpergewicht und eventuell vorhandene Bewegungseinschränkungen beeinträchtigen die Freude und Lust am Sport sowie die Durchführbarkeit der herkömmlichen Trainingsprogramme. Die Lipödemerkrankung kann jedoch ohne eine gewisse sportliche Aktivität schnell zu einer ernsthaften Immobilität mit einer unaufhaltsamen lymphatischen und venösen Insuffizienz führen. [17] Gezielte Trainingstherapien im Zusammenhang mit dem Lipödem, welche dem Prozess der Erkrankung entgegenwirken bzw. eine Symptomlinderung mit sich bringen, gibt es noch nicht. Genau hier setzt die vorliegende Studie an.

## **2. Aufgabenstellung**

Derzeit existiert noch keine Studie, die sich mit einer gezielten Bewegungs- und Trainingstherapie zur Behandlung der Lipödemerkrankung auseinandersetzt. Mit dieser Studie wird das Ziel verfolgt, die medizinischen Trainingsmöglichkeiten der Lipödempatienten methodisch weiterzuentwickeln, um zu einer Verbesserung der Lebensqualität beizutragen.

Die Hauptanliegen dieser Studie bestehen in einer Erhöhung der Druckschmerzschwelle und einer Senkung des Volumens im Beinbereich durch ein gezielt eingesetztes Beinmuskeltraining. Zu untersuchen ist, ob das Vibrationstraining, ein Training mit dem Galileotraininggerät, zu einer effektiveren Volumenreduktion und Schmerzlinderung im Beinbereich führt als ein allgemeines Übungsprogramm zur Aktivierung der Beinmuskelpumpe („Venengymnastik“). Es ist zu prüfen, ob das Vibrationstraining (Galileotraining) effizienter und effektiver hinsichtlich des zeitlichen Aufwands ist als ein herkömmliches Beinmuskeltraining.

Würde die Effektstärke bei einer Trainingsart signifikant höher ausfallen, so hätte dies unmittelbare Konsequenzen für die Programmgestaltung bei der Behandlung des Lipödems. Mit den gewonnen Erkenntnissen könnten die medizinischen Trainingstherapiemöglichkeiten der Lipödempatienten erweitert werden.

### **3. Grundlagen**

#### **3.1 Das Lipödem**

##### **3.1.1 Ätiologie**

Es wird vermutet, dass die Lipödemerkrankung östrogenabhängig ist, da fast ausschließlich Frauen, typischerweise in Zeiträumen hormoneller Veränderungen wie Pubertät, Schwangerschaft und Menopause, betroffen sind. [6] [18] [21] Bei Männern sind nur wenige Erkrankungsfälle bekannt, die dann vor allem im Zusammenhang mit einer hormonellen Veränderung (niedrige Testosteronwerte) auftreten, [12] [22] wie etwa bei einer Orchiektomie, einer Hormontherapie beim Prostatakarzinom oder einer Leberzirrhose. [6] [21]

Neben den hormonellen Einflüssen [8] scheint auch die 2010 in einer Studie veröffentlichte Erkenntnis zur genetischen Vererbung des Lipödems eine Rolle zu spielen. [12] Man geht von einem geschlechtslimitierenden, autosomal-dominanten Zustand aus, der recht ungewöhnlich für einzelne Genstörungen ist. [12] Weiterhin wird diskutiert, ob es sich auch um eine oligogenetische Vererbung handeln könnte. [12]

##### **3.1.2 Pathophysiologie**

Im Gegensatz zu den gleichmäßig geformten Adipozyten im gesunden Gewebe mit einem durchschnittlichen Durchmesser von ungefähr 100 µm weichen die Adipozyten im Lipödemgewebe mit einem Adipozytendurchmesser von mehr als 150 µm in ihrer Größe davon ab. [13]

Im Lipödemgewebe lassen sich wie auch im Gewebe adipöser Personen erhöhte Werte entzündungszusammenhängender Proteine finden. [23] Diese umfassen die klassischen Zytokine (z.B. TNF $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , IL-6, IL-10) und andere akute Phaseproteine (z.B. Haptoglobin) sowie andere entzündungsbezogene Signale. [24] Zwei Studien konnten im Fettgewebe eine erhöhte Makrophageninfiltration nachweisen [13] [24], welche für eine bedeutende Ausweitung des Entzündungsprozesses innerhalb des Fettgewebes spricht. [24] Histologisch lassen sich im Lipödemgewebe typische Zeichen eines Adipozytentodes mit kronenähnlichen Strukturen multinukleärer Gigantenzellen aus makrophagengereinigten Adipozytentrümmern finden. [13] Immunhistochemisch konnten im Lipödemgewebe degenerativ veränderte Adipozyten sowie eine verstärkte Proliferation der CD 34 positiven multipotenten Zellen (ASCs – adipose-derived stem cell) zur Wiederherzustellen des degenerativen Fettgewebes demonstriert werden. [13]

Dies verdeutlicht, dass es sich beim Lipödem um eine Kombination aus einer Hypertrophie und einer Hyperplasie der Adipozyten handelt. [8]

Letztendlich wird als Ursache ein oxidativer und endoplasmatischer Retikulum-Stress angesehen. [23] Den Auslöser selbst könnte eine auftretende Hypoxie bilden, welche durch die weiter im Gefäßsystem gelegenen vergrößerten Adipozyten [24] bzw. durch die gesteigerte Adipogenese hervorgerufen wird. [13] Diese Hypoxie führt folglich zur Adipozytennekrose und Makrophagenrekrutierung [13], stimuliert die Expression und Sekretion einer großen Anzahl entzündungszusammenhängender Adipokine [23] und inhibiert die Differenzierung der Adipozyten aus den Präadipozyten. [23] Der zugrunde liegende Mechanismus mit der Beschränkung auf die unteren Extremitäten und die Unterscheidung des Lipödems gegenüber der systemischen Adipositas muss noch in zukünftigen Studien untersucht werden. [13]

In einer anderen Studie von 1974 konnte gezeigt werden, dass die Triglyceride im Plasma und im Gewebe bei den Lipödempatienten ein signifikant verändertes Fettsäuremuster mit vermehrten Mengen an ungesättigten Fettsäuren wie Palmitoleinsäure, Linolensäure und Linolsäure aufweisen. [25] Das Cholesterinester des lipödematösen Plasmas zeigt auch geringfügig erhöhte Mengen der Linolsäure. [25] Des Weiteren sind die individuellen Lipide im Plasma wie Gesamtcholesterin, Serumtriglyceride und Cholesterinesterasen bei durchschnittlich normalen Mengen der Hauptlipidfraktionen (Gesamtlipide, Triglyceride und Phospholipide) stark erhöht. [25] Die Beziehung zwischen dieser Veränderung und deren Ursache sowie die Rolle bei der schmerzhaften Ansammlung des Fettgewebes ist noch nicht geklärt. [25]

Als frühe histologische Veränderungen des Lipödems lassen sich Mikroangiopathien in den Regionen des Fettgewebes finden. [13] [21] Dies führt zu einer gesteigerten Fragilität der Blutkapillare und zu einer erhöhten Permeabilität der Plasmaproteine [17] [21], wodurch vermehrt Ödeme hervorgerufen werden und eine erhöhte Tendenz zur Entwicklung von Hämatomen im subkutanen Gewebe gegeben ist. [21] Eine andere mögliche Erklärung der Bildung von Ödemen beim Lipödem konzentriert sich auf die Ausdehnung des Fettgewebes (Vergrößerung der Adipozyten). [9] Dies führt zu einem Anstieg des intrazellulären Drucks, welcher eine gewisse mechanische Obstruktion der kleinen Lymphgefäße in den Septen hervorruft und so zu einer milden Lymphostase und zu Ödemen des subkutanen Gewebes führt. [9] Dennoch ist diese Anschauung fragwürdig, da sich auch in anderen Erkrankungen mit vergleichbaren oder sogar stärkeren Fettansammlungen, wie bei der Lipodystrophie oder der Adipositas, keine Funktionseinschränkung des Lymphsystems finden lassen. [9]

Eine weitere Theorie bezieht sich auf den Bau der Fettlappen. Die Fettlappen selbst besitzen keine lymphatischen Gefäße aber eine gute Durchblutung. [11]




Die daraus resultierende große Menge an Blutultrafiltrat wird nicht ausreichend durch die kapillare Drainage, den Abtransport durch die Lymphgefäße in den Septen, kompensiert. [11] Diese strukturelle Drainageschwäche führt zum Abtransport zur oberen Dermis und zur Entwicklung einer dynamischen Insuffizienz. [11] Diese dynamische Insuffizienz des Lymphflusses und die damit einhergehende Drainageschwäche soll für die Schmerzen im Lipödem verantwortlich sein. [11] Ein weiterer Erklärungsversuch der Schmerzen in den Beinen der Lipödempatienten und deren Berührungsempfindlichkeit geht von einer Kompression der Nervenfasern in den Septen aus. [9]

### 3.1.3 Klinik

Das Lipödem findet sich typischerweise symmetrisch verteilt in den Beinen [26] – vom Beckenkamm bis zum Sprunggelenk unter Aussparung der Füße [4] [6] [15] [27] [28], mit einem für das Lipödem typischen, abrupten Beginn der Fettpolster oberhalb der Malleolen. [9] Die Umfangsvermehrung erfolgt dabei in den meisten Fällen zuerst am Oberschenkel. [8]

Das Lipödem ist eine chronisch progrediente Erkrankung [8], deren Fortschrittggeschwindigkeit nicht vorhersehbar ist [5] und die sich in unterschiedliche Ausprägungsgrade einteilen lässt. [8] Entsprechend der Morphologie des Lipödems, der Hautoberfläche, des Tastbefundes und der Volumenmenge erfolgt eine Einteilung in drei Schweregrade (siehe Tab. 1). [18]

**Tab. 1 Stadien des Lipödems [8]<sup>1</sup>**

Stadium I	Stadium II	Stadium III
<ul style="list-style-type: none"> <li>- gleichmäßige oder kleinknotige verdickte Subkutanschicht mit weicher Konsistenz</li> <li>- Haut erscheint makroskopisch glatt</li> <li>- oft normalgewichtig [5]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- knotige Subkutanschicht mit welligen Unebenheiten der Hautoberfläche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- fibrotisches stark induriertes, verhärtetes Subkutangewebe</li> <li>- lipomähnliche Knoten</li> <li>- ausgeprägte Fettwülste im Knie- und Oberschenkelbereich</li> </ul>
		

<sup>1</sup> Fotos mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Wilfried Schmeller, Hanse-Klinik, Lübeck.

Die Haut der Patienten ist weich [28], fühlt sich gummiartig und elastisch an. [27] Sonst weist die Haut keine weiteren farblichen Auffälligkeiten auf [21], abgesehen von einer oftmals auftretenden Hypothermie der Haut [29] aufgrund einer möglichen „veränderten funktionellen Mikrozirkulation“. [5] Des Weiteren wird das Lipödem durch eine steigende Gefäßinstabilität begleitet, welche zu subkutanen Hämatombildungen nach kleinsten Stößen führt. [9] [11] [14]

Die Lipödempatienten klagen über diffuse Schmerzen, Schweregefühl, Diskomfort, Druckschmerzhaftigkeit und Juckreiz in den Beinen. [7] [27] [28] [30] Ca. 40% der Patienten klagen über spontane Schmerzen [31] „in Form eines dumpfen Schwellungsgefühles“ [8] vor allem bei Berührung und bei Druck. [8] Die Beschwerden befinden sich im Ober- und Unterschenkel mit einem Schmerzmaximum insbesondere unterhalb des Knies [4] [8] [28] [32] und werden vor allem als „drückend, dumpf und schwer und teilweise auch als stechend und ziehend“ beschrieben. [18]

Eine weitere Einteilung des Lipödems erfolgt nach der betroffenen Körperregion gemäß Tab. 2, wobei diese Einteilung oftmals nicht einheitlich ausfällt und in der Klinik unüblich ist. [18]

**Tab. 2 Einteilung des Lipödems nach der Lokalisation [33]**

Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV	Typ V
Veränderung nur im <b>Gesäßbereich</b>	Fettvermehrung im <b>Gesäß- und Oberschenkel</b> bis zum Kniebereich	Fettvermehrung im <b>gesamten Bein</b> bis zu den Malleolen	Fettvermehrung <b>nur in den Armen</b>	Veränderungen nur in den <b>Unterschenkeln</b>

Die Körperstatur der Lipödempatienten zeigt eine Unverhältnismäßigkeit in den Proportionen durch die abnormale Fettverteilung in den Extremitäten und dem normalen, schmalen Oberkörperbau. [7] [8] [11] [14] [27] [30] Das Lipödem ist eine diätresistente Erkrankung. Die Durchführung einer Diät führt nicht zur Abnahme des Fettgewebes an den Beinen, sie verstärkt lediglich das Ungleichgewicht zwischen der oberen und unteren Körperhälfte. [5] [13] [16] [34]

Die durch das Fettgewebe hervorgerufene Volumenzunahme der Beine ist im Gegensatz zum Lymphödem nicht eindrückbar. [1] [5] [28] Weiter unterscheidet sich das Lipödem vom Lymphödem insoweit, dass eine Hochlagerung der Beine nicht zur Verringerung des Volumens führt. [7] [35] Das Stemmerzeichen, das Abheben einer Hautfalte an der Basis des zweiten Zehs, ist bei einem reinen Lipödem stets negativ. [6] Das sich im Laufe der Zeit zum Lipödem zusätzlich ausprägende sekundäre Lymphödem [11] zeigt sich anfangs vor allem als abendliches Ödem [11] [30] und wird unter warmen Temperatureinflüssen zusätzlich verstärkt. [9] [28] [29] [30]

Dieses sich derart bildende Lipolymphödem geht mit einer Umwandlung des anfänglich weichen Lipödempgewebes in ein festes fibrotisches Gewebe der Lymphödempatienten [4] [34] mit bestehender Möglichkeit zur Ausbildung eines positiven Stemmerzeichens über. [6] Der Grad der lymphatischen Schädigung der Lipödempatienten erreicht hierbei jedoch nicht das Ausmaß der Schädigung der reinen Lymphödempatienten. [16]

Die Schmerzen, die Empfindlichkeit und das Spannungsgefühl sowie die Schwellung in den Beinen nehmen im Laufe des Tages überwiegend nach langem Stehen oder Sitzen zu [5] [8] [32] [34] und verschlimmern sich mit der Länge der bestehenden Erkrankung. [11]

Die sehr stark von der Erkrankung betroffenen Patienten zeigen im weiteren Verlauf eine ernsthafte Unbeweglichkeit und Morbidität. [9] Zusätzlich zu diesen physischen Beschwerden leiden die Patienten auch an psychischen Problemen. [9] Die Patienten empfinden ihr Äußeres als unästhetisches Erscheinungsbild und leiden oft unter Depressionen. [35] Die starke Frustration und ihre Beschämtheit über das soziale Stigma ihrer Erkrankung [28] kann zu vermehrtem Essen mit einhergehender Gewichtszunahme führen. [8] Eine Studie bewertet 36 % der Lipödempatienten als übergewichtig oder adipös. [29] Andere Studien berichten sogar von einer Adipositasrate von 50 %. [1] [5] [31]

### **3.1.4 Diagnostik**

Das Lipödem lässt sich anhand der typischen klinischen Kriterien diagnostizieren. [1] [5] Dazu zählen unter anderem der Zeitpunkt des Auftretens der Erkrankung, die Druck- und Berührungsschmerzen, die symmetrische Fettverteilung, die Hämatomneigung und das eventuelle Auftreten von Ödemen. [5] Aufgrund der mangelnden klinischen Vertrautheit mit dem Lipödem und der klinischen Ähnlichkeit mit dem Lymphödem [6] [13] wird das Lipödem häufig falsch diagnostiziert und therapiert. [6] [9] Diagnostische Tests, welche das Lipödem eindeutig belegen, gibt es bisher noch nicht. [1]

Zu den apparativen Untersuchungstechniken zählen die MRT, die CT und die Duplexsonografie. Die vorhandenen apparativen Untersuchungstechniken finden jedoch im klinischen Alltag kaum Anwendung und werden vor allem bei unklarem Befund, Verdacht auf Tumor und zur wissenschaftlichen Beurteilung herangezogen.

Die Anwendung der hochauflösenden Farbduplexsonografie (7-12 MHz) zur Diagnosestellung und zur Differenzierung gegenüber dem Lymphödem gewinnt jedoch zunehmend an Bedeutung. [5] [31] Das Lipödem ist bei dieser Untersuchungstechnik durch eine homogen verdickte Subkutis sowie eine gleichmäßig erhöhte Echogenität gekennzeichnet. [31] Es können mit der Sonografie „quantitative und qualitative Aspekte des Fettgewebes erfasst werden“. [5]

Zur Bewertung der Lymphzirkulation bei Patienten mit Lipödem und Lipolymphöden der unteren Extremitäten kann die Magnet-Resonanz-Lymphangiografie zur Anwendung kommen, eine sichere, praktikable und minimal-invasive Darstellungsmethode ohne zusätzliche Strahlenbelastung. [21] Dennoch ist auch diese Methode ebenso wenig in der Klinik etabliert und findet nur selten Anwendung.

Die invasive und apparative Diagnostik, wie die indirekte und die direkte Lymphoangiografie (Lymphografie) und die Lymphszintigrafie sowie die Fluoreszenzmikrolymphangiografie, dienen der Beurteilung des lymphatischen Systems und dessen Abflussbedingungen. [5] [14] [21] [36] Im frühen Lipödemstadium zeigt sich ein gesteigerter Lymphfluss, wogegen sich im Spätstadium eine verminderte Flussrate zeigt. [11] [17] [29] Möglichst frühzeitig sollte eine Diagnostik zur Erfassung vorhandener Lymphgefäßschädigungen mittels apparativer Untersuchungsmethoden erfolgen, da sich hieraus wichtige therapeutische Konsequenzen ergeben können. [36]

### **3.1.5 Differentialdiagnosen**

Bei einer auftretenden Schwellung bzw. Größenzunahme der unteren Extremitäten sollte zuerst mit Hilfe der Anamneseerhebung und der klinischen Untersuchung eine eindeutige Klärung der Ursache erfolgen. [11] Als mögliche systemische Ursachen sind zu nennen: Herzinsuffizienz, Hypoalbuminämie, Nierenversagen, Nephropathie (Proteinverlust-Syndrom) und fortgeschrittene hepatische Erkrankungen, welche gewöhnlich offensichtlich erscheinen und erkannt werden. [28] Zu den lokalen Ursachen zählen chronische venöse Erkrankungen, tiefe Venenthrombosen, Cellulitis, Myxödem, das Lymphödem sowie das Lipödem. [28]

Eine ausführliche Befragung zu den klinischen Beschwerden ist bei der Diagnosestellung hilfreich. Weiterhin kann die adäquate Erhebung der Familienanamnese in Bezug auf die Schwellung der Beine richtungsweisend sein durch den kürzlich in der Studie von Child et al diskutierten genetischen Zusammenhang des Lipödems.



Lipödempatienten durchlaufen oft einen jahrelangen Leidensweg, bis eine korrekte Diagnosestellung erfolgt. [8] Bei einem über längere Zeit bestehenden Lipödem mit einem zusätzlich entwickelten Lymphödem kann eine vollständige Differenzierung gegenüber dem reinen Lymphödem schwerfallen. [6] Bei übergewichtigen und adipösen Patienten stellt die Diagnosestellung eine zusätzliche Herausforderung dar [1], wobei die Resistenz gegenüber Diäten als Differenzierungskriterium mit herangezogen werden kann. [11]

Die Feststellung der Schlüsselunterschiede in der klinischen Präsentation der verschiedenen Störungen der Fettgewebsvermehrungen kann zu einer effizienteren Behandlung beitragen. Tabelle 3 bietet eine Orientierung bei der Differenzierung der Formen der Fettgewebsvermehrung.

**Tab. 3 Weitere Formen der Fettgewebsvermehrung [22] [37]**

Erkrankung	Pathologie	Auftreten
Lipom	gutartige Fettgewebsgeschwulst	lokal
Lipomatosen [38]	heterogene Gruppe mit multifokalen unregelmäßigen Fettgewebsvermehrungen [38] oder multiple auftretenden Lipomen [39] am Rumpf und Extremitäten in der 2. Lebenshälfte [38]	diffus
- benigne symmetrische Lipomatose [38] [39]	nicht abgekapselte, subkutane Fettgewebshyperplasie: Hals-Nacken-Typ (Madelung-Fetthals), Schultergürteltyp, Beckengürteltyp, Abdomineller Typ [39], v. a. Männer mit Leberschäden, erhöhtem Alkoholkonsum [8]	symmetrisch
- Lipomatosis dolorosa (Morbus Dercum) [5] [8]	schmerzendes Fettgewebe an Rumpf und Extremitäten unter Aussparung der Füße, v.a. nach der Menopause, fehlende Ödeme, u.a. mit Muskelschwäche, Alkoholabusus, emotionaler Instabilität und Depressionen [8]	symmetrisch
Lipohypertrophie	anlagenbedingte schmerzlose Fettgewebsvermehrung der Extremitäten, Sonderform Cellulite oder Reiterhosen-Adipositas	symmetrisch
Adipositas	weiche generalisierte Fettgewebsvermehrung des ganzen Körpers, v.a. am Rumpf	symmetrisch

### 3.1.6 Therapie

Die Behandlung des Lipödems besteht aus zwei therapeutischen Anteilen, den konservativen und den operativen. [8] [5] Überwiegend kommt die konservative Methode zur Anwendung, jedoch tragen beide Behandlungsmethoden lediglich zu einer Linderung der bestehenden Beschwerden bei. Die Fettvermehrung kann weder durch die konservative noch durch die operative Behandlung verhindert werden. [33] Ein wichtiger Bestandteil der Therapie dieser Erkrankung stellt daher vor allem die psychische Unterstützung dar [6] [34] sowie die Prävention der Adipositas. [9]

### Konservative Therapie

Zur konservativen Therapie bei der Behandlung des Lipödems zählt die komplexe physikalische Entstauungstherapie (KPE), welche zur Reduzierung der Ödembildung und der damit verbundenen Schwellungsabnahme und zur Linderung der Beschwerden (v.a. der Schmerzen) führt. [5] [17] [20] [33] Die KPE wird in zwei Behandlungsphasen, KPE 1 – Entstauungstherapie sowie KPE 2 – Erhaltungstherapie, eingeteilt. [40] Zur KPE der unteren Extremitäten gehören die manuelle Lymphdrainage und die Kompressionstherapie (in der KPE 1 Kompressionsbinden und in der KPE 2 maßangefertigte Kompressionsstrümpfe [32] [40]), welche den kontinuierlichen Pumpmechanismus durch die Aktivierung der Muskelpumpe verstärken und so den venösen Abfluss fördern. [17] Des Weiteren wird zur Entstauungstherapie auch die selten angewandte intermittierende pneumatische Kompression genutzt. [17] [41] Weiterhin zählen zur KPE regelmäßige Bewegungsübungen [17] [40] sowie eine regelmäßige Hautpflege. [41]

Nach Beendigung der Kompressionstherapie treten die Empfindlichkeit, die Schmerzen und die Ödeme jedoch begleitend wieder auf. [25] Eine regelmäßige Betreuung in Form der komplexen physikalischen Entstauungstherapie ist bei der Lipödemerkrankung v. a. in Kombination mit einem Lymphödem wichtig, um der im Alter steigenden Neubildung der Ödeme entgegenwirken zu können. [5] [8]

### Operative Therapie

Die operative Therapie besteht in der Entfernung des Unterhautfettgewebes durch Liposuktion [5] [20], eine häufig angewendete operative Methode bei der Adipositas, mit dem Ziel der Reduzierung des Umfangs und des Volumens der Extremitäten. [14] Die Liposuktion zählt mit weltweit geschätzten einer Million Eingriffen pro Jahr [42] zu den verbreitetsten kosmetischen Operationen und stellt derzeit die einzige Technik zur Korrektur des Fettgewebes dar. [9]

Es gibt verschiedene Arten der Liposuktion, welche sich im Laufe der Zeit aus der Standardmethode der saug-assistierten Liposuktion (SAL) entwickelten. Neben der wasserstrahl-assistierten Liposuktion (WAL) findet auch die Vibrationskanülen-Technik (PAL – power assisted liposuction) und die ultraschall-assistierte Liposuktion (UAL) Anwendung. Eine weitere Einteilung erfolgt nach der Menge der verwendeten Flüssigkeit, welche so zur Einteilung in die trockene, feuchte und extra feuchte Technik der Liposuktion führt.

Eine Mischung aus Kochsalzlösung, Adrenalin als Vasokonstriktor und Lidocain als Anästhetikum wird vorher bzw. während der Liposuktion ins Gewebe injiziert, um die

Fettzellenwände auseinander zu reißen, Lipide zu emulgieren und die Blutstillung einzuleiten. [43] Die Technik der „nassen“ Liposuktion („wet technique“) wurde 1983 durch Dr. Yves-Gerard Illouz in Europa eingeführt. [43] [44] Diese Technik, genannt Tumeszenz-Technik der Liposuktion, ermöglicht eine Aspiration teils verflüssigten Fettes durch Kanülen mit einem kleinen Durchmesser. [43] Die Anwendung der „nassen“ Technik reduziert im Vergleich zur trockenen Methode viel effektiver ernsthafte Lymphgefäßverletzungen. [43]

Mögliche Komplikationen beinhalten postoperative Blutungen, Gewebeschäden, Flüssigkeitsüberlastung, Lungenödem [43] [44] [45], tiefe Venenthrombosen, intraoperativ und postoperativ bedingte Medikamenteninteraktion [45], z.B. ungünstige Reaktionen auf das Anästhetikum Lidocain [43] mit Herzstillstand (Bradykardie und Hypotonie). [44] [45] Des Weiteren kann es zur Zerstörung sympathischer Nerven kommen sowie zur Beschädigung des Lymphsystems [20], welches vor allem die Transportkapazität des Lymphsystems reduziert und zu persistierenden Ödemen führt. [43]

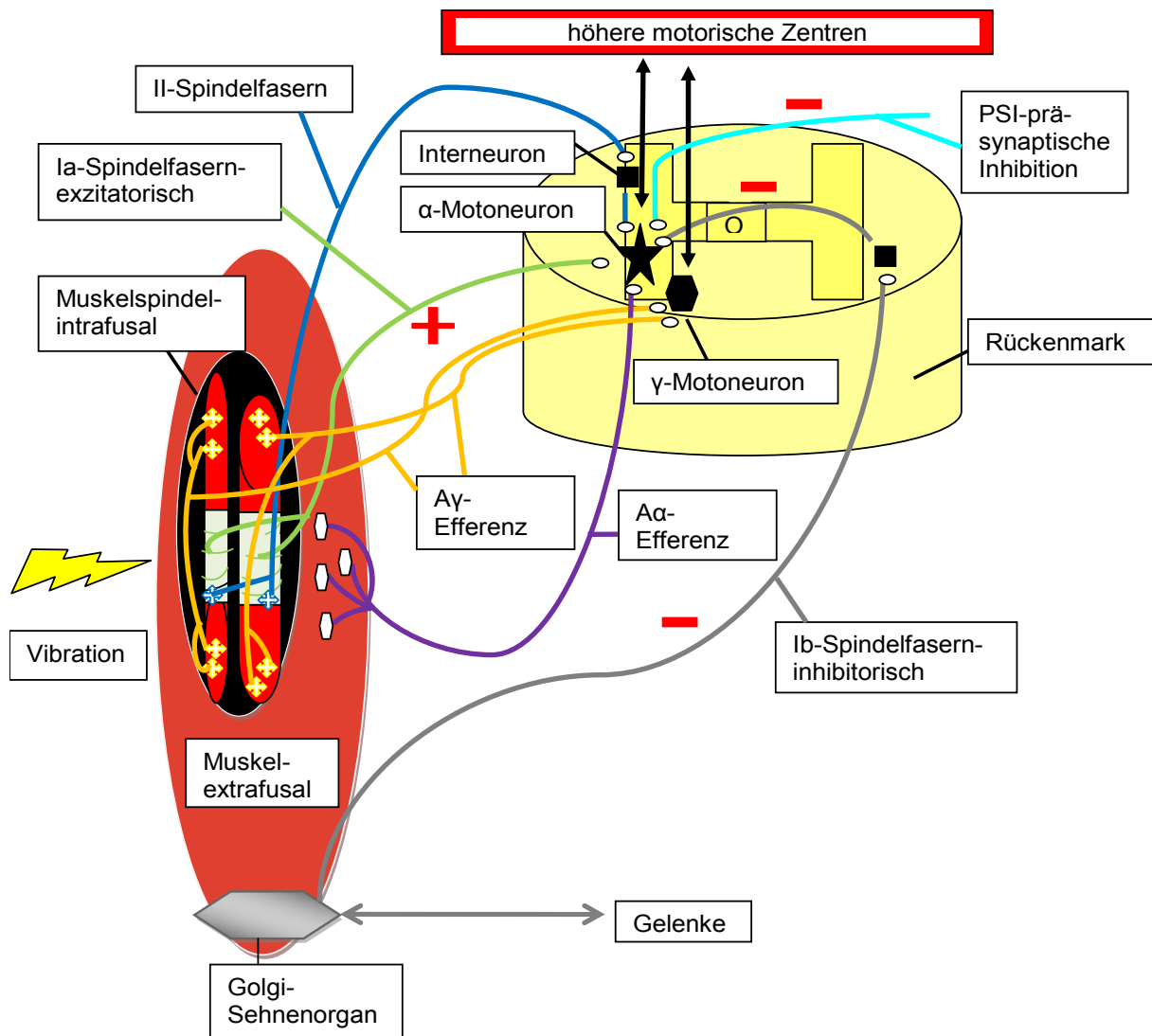
In den letzten Jahren entwickelte sich die weiterhin kontrovers diskutierte Liposuktion zu einer möglichen Behandlungsmethode des Lipödems in Ergänzung zu den konservativen Therapiemöglichkeiten. [14] Die Weiterentwicklung der Liposuktionsmethoden unter Verwendung stumpfer Vibrationsmikrokanülen (Durchmesser 2-4 mm), die Einführung des strikten Arbeitens entlang der longitudinalen Achse der Extremitäten [14] und die Einführung der Tumeszenz-Lokalanästhesie, die die Vollnarkose ablöste, führten zur Zunahme der Sicherheit bei der Fettentfernung und verringerte die Komplikationen vor allem im Bereich der Lymphgefäßschädigung. [8] Die Liposuktion wird in den Richtlinien der Deutschen Gesellschaft für Phlebologie als eine mögliche therapeutische Option genannt [14], obwohl die Kosten von 2500 bis 4500 Euro [33] von einigen Ausnahmen abgesehen [8] noch nicht von den gesetzlichen Krankenkassen getragen werden.

Es stellt sich dennoch die Frage, ob die operative Methode den Krankheitsprozess des Lipödems überhaupt eindämmen kann. [33] Die Anwendung der Liposuktion beim Lipödem wird weiterhin kontrovers diskutiert. Einige Autoren raten von der Anwendung der Liposuktion ab, da bei diesem Eingriff nicht ausgeschlossen werden kann, dass es zu einer Traumatisierung des Lymphsystems kommt, welche wiederum zur Ausbildung eines sekundären Lymphödems führen kann. [6] [13] [32] [34] [37] Der Eingriff mittels der Liposuktion ist riskant und kann zu unbefriedigenden Ergebnissen und Komplikationen führen. [37]

### 3.2 Wirkung von Vibrationen auf das neuromuskuläre System und deren Möglichkeit der Trainingsanwendung

Die Vibration ist ein mechanischer Reiz, der durch schwingende Bewegungen charakterisiert ist. [46] Die Intensität der Vibrationen und die Belastung des neuromuskulären Systems wird durch die Amplitude (Ausmaß der schwingenden Bewegung in mm), die Frequenz (Wiederholungsrate der Schwingungszyklen in Hz) und die Schwingungsgröße (Beschleunigung in  $g$  – Erdgravitationsfeld oder  $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ) bestimmt. [46] [47] Vibrationen, welche auf den Körper übertragen werden, stimulieren die sensorischen Rezeptoren, vor allem die Muskelspindeln (siehe Abb. 1). [48]

**Abb. 1** Schematische Übersicht der neuronalen Verbindungen und die Beeinflussungen durch die Vibrationen (+/-)<sup>2</sup>



<sup>2</sup> Von der Verfasserin erstellte Abbildung auf Grundlage von [46] und [47].

Die Muskelspindeln befinden sich in Parallelschaltung im Muskel und sind die Sensoren für die Lage- und Längenänderungen des Muskels. [49] Neben den Muskelspindeln gibt es noch weitere Mechanorezeptoren in der Muskulatur, nämlich die Golgi-Sehnenorgane, welche sich am Übergang von Muskeln und Sehnen in Serienschaltung zum Muskel befinden und zur Messung der aktiv entwickelten Muskelspannung dienen. [49]

Vibrationen führen zu einer schnellen Änderung der Muskellänge und der Gelenkstellungen und so zu einer Aktivierung der  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Motoneuronen auf spinaler Ebene, die zu einer Kontraktion der Muskulatur führen und zu einer Modulation der Steifheit des Muskels beitragen. [46] Die Aktivität der motorischen Einheit, bestehend aus einem motorischen Neuron und dem von ihm innervierten Kollektiv von Muskelfasern [49], wird durch die Integration der exzitatorischen und inhibitorischen neuronalen Zufuhr zu den  $\alpha$ -Motoneuronen bestimmt. [50] Die Ia-Afferenzen vermitteln die Informationen der Längenänderung des Muskels in den Muskelfasern, welche durch die intrafusalen Anteile der Muskelspindel wahrgenommen werden. [50] Der exzitatorische Zufluss der Ia-Afferenzen zur  $\alpha$ -Motoneuronen Ansammlung wird durch kurze Vibrationszeiten verstärkt und bei länger anhaltenden Vibrationen unterdrückt. [50]

Die meisten neuronalen Zuflüsse der  $\alpha$ -Motoneuronen kommen vom supraspinalen Cortex, d. h. von den höheren motorischen Zentren (exzitatorisch), den Ib-Afferenzen des Golgi-Sehnenorgans über inhibitorische Interneuronen und von den Ia-Afferenzen der intrafusalen Muskelspindel (exzitatorisch), welche präsynaptisch inhibiert werden. [50] Die reflektorischen Muskelaktivitäten als Antwort des neuromuskulären Systems auf die mechanischen Vibrationen werden hierbei sowohl durch monosynaptische als auch durch polysynaptische Verschaltungen vermittelt. [46]

Durch den komplizierten Prozess der Verarbeitung können Vibrationen eine kräftige Stimulierung der Muskulatur und des Skeletts hervorrufen. [46] Die Vibrationen bewirken im zeitlichen Verlauf eines Trainings eine Veränderung des Gravitationsfeldes und führen zu einer Hypergravitation, welche so von Trainingsprogrammen zur Steigerung der Kraft und Stärke ausgenutzt wird. [46]

Die ersten Anwendungen von Vibrationen als Trainingsmöglichkeit gehen auf den russischen Wissenschaftler Prof. Dr. Vladimir T. Nazarov zurück und werden nach dem Prinzip der biomechanischen Stimulation (BMS) auch als Nazarov-Stimulation bezeichnet. [51] [52]

Vladimir Nazarov fand heraus, dass mechanische sinusförmige Schwingungen in Längsrichtung zur Muskulatur im biologischen Wirkungsspektrum des Menschen zwischen 20 und 40 Hz mit einer Amplitude von 4-6 mm effektiv zur Steigerung der Kraft genutzt werden können. [46] [51]

Die heutigen Anwendungsgebiete der Ganzkörpervibrationen sind sehr vielfältig, dazu zählen u.a. Gehstörungen, chronische Rückenschmerzen, Muskelatrophie, Balancestörungen, Morbus Parkinson, Multiple Sklerose, Inkontinenz, Fibromyalgie, Polyneuropathien und Parästhesien, Osteogenesis imperfecta, Osteoporose sowie Verlust von Kraft, Leistung und Koordination nach Immobilisation, Operationen und Unfällen. [52]

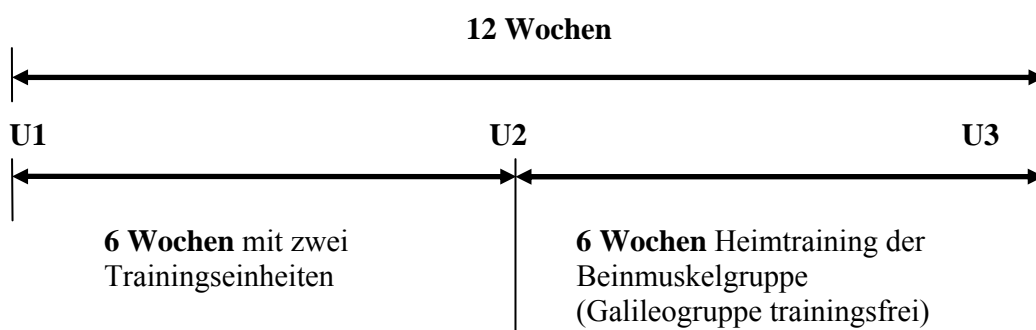
## 4. Studiendesign, Probanden und Methoden

### 4.1 Studiendesign

Bei der Studie handelt es sich um eine prospektive randomisierte klinische Pilotstudie. Die Dauer der Studie betrug zwölf Wochen und orientierte sich hierbei an anderen wissenschaftlich durchgeführten Trainingsprogrammen. Anfangs erhielten beide Trainingsgruppen (Galileogruppe und Beinmuskelgruppe) ein sechswöchig geführtes Training (Vibrationstraining bzw. Beinmuskeltraining) mit je zwei Trainingseinheiten pro Woche in der Klinik für Physikalische Medizin und Rehabilitation der medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin. Danach trainierten die Probanden der Beinmuskeltrainingsgruppe weitere sechs Wochen mit je zwei bis drei Trainingseinheiten pro Woche selbstständig zu Hause. Die Vibrationstrainingsgruppe auf dem Galileogerät erhielt in dieser Zeit kein weiteres Training und sollte auch kein weiteres neues Trainingsangebot wahrnehmen (siehe Abb. 2).

Die erste Untersuchung erfolgte vor Beginn der Trainingsaufnahme (Untersuchungszeitpunkt U1), eine weitere schloss sich am Tag der letzten Trainingseinheit der ersten sechs Wochen an (Untersuchungszeitpunkt U2). Die abschließende Untersuchung erfolgte nach weiteren sechs Wochen Training der Beinmuskelgruppe (Untersuchungszeitpunkt U3). Bestandteil der Untersuchungen waren ein Sechs-Minuten-Gehtest (6MWT – six minute walking test), ein Lauftest zur Ermittlung der Gehstreckenleistung, die Volumenmessung mittels infrarotgestützten Perometers, die Druckschmerzschwellenbestimmung mit Hilfe des Dolorimeters sowie die Messung der Körperzusammensetzung mittels der dualen Röntgenabsorptiometrie (DXA – dual-energy x-ray absorptiometry) und beinhaltete des Weiteren die Beantwortung von Fragebögen.

**Abb. 2 Studiendesign (U1-U3 = Untersuchungszeiträume)**



## 4.2 Probanden

Die Rekrutierung der Studienteilnehmer erfolgte durch den Arbeitsbereich für Physikalische Medizin und Rehabilitation der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin. Nach einer umfangreichen Durchsichtung der Patientenakten wurden 213 Patienten mit der Diagnose Lipödem ermittelt und schriftlich über die Studie informiert. Die an der Studie interessierten Patienten meldeten sich daraufhin im Sekretariat bzw. traten an die Ärzte der Klinik heran, vereinbarten einen Termin zu einem persönlichen Gespräch und wurden zur Voruntersuchung eingeladen. In diesem Rahmen erhielten die Patienten weitere Informationen über die Studie und ihnen wurde die Möglichkeit zur Klärung von Fragen gegeben. Es erfolgte eine klinische Untersuchung zur Bestätigung der bestehenden Diagnose des Lipödems sowie eine körperliche Untersuchung zur Erfassung des neurologischen Status, des Pulses, des Blutdruckes, der Körpergröße und des Gewichts.

Probanden mit den in Tabelle 4 aufgeführten Kriterien wurden von der Studie ausgeschlossen.

**Tab. 4 Ausschlusskriterien**

Ausschlusskriterien	
▪ Erysipel	▪ Leisten- oder Nabelhernien
▪ akute Thrombose	▪ Gallen- oder Nierensteinen
▪ Sepsis	▪ koordinative Störungen
▪ Herz- und Gefäßerkrankungen	▪ akute Migräneanfälle
▪ Schwangerschaft	▪ Epilepsie
▪ Entzündungen des Knochen-, Gelenk- und Sehnenapparates (z.B. rheumatoide Arthritis, akute Tendinopathien, aktive Arthrosen und Arthropathien)	▪ frische Operationen und frische Frakturen sowie offene Wunden und frische Narben im Bereich der trainierten Körperregionen
▪ Implantate (Knie-TEP, Hüft-TEP u.a.)	▪ Bandscheibenvorfall

Zu den Einschlusskriterien zählten eine klinisch gesicherte Diagnose des bestehenden Lipödems der Beine und weibliche Versuchspersonen im Alter von 18 – 60 Jahren.

Diese Studie wurde durch eine unabhängige Ethikkommission genehmigt (Nr. EA1/133/07). Entsprechend der Ein- und Ausschlusskriterien konnten nach erfolgter Unterzeichnung der Einverständniserklärungen zur Verwendung der erhobenen Daten 50 weibliche Probanden in die Studie aufgenommen werden.

Die Randomisierungsliste für diese Studie wurde vom Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie der Charité-Universitätsmedizin Berlin erstellt.



Daraus erfolgte die Aufteilung der 50 einbezogenen Probanden in je zwei Trainingsgruppen, bestehend aus der Beinmuskelgruppe und der Vibrationsgruppe (nachfolgend als Galileogruppe bezeichnet) mit je 25 Teilnehmern.

Die Studienteilnehmer wurden angehalten, während der Studienteilnahme ihre gewohnten therapeutischen Behandlungsmaßnahmen wie Lymphdrainage und Kompressionsstrümpfe beizubehalten sowie ihrem sonst regelmäßigen Aktivitätsprogramm (Sport und Fitness) nachzugehen.

Die Verteilung der Ausgangswerte in den beiden Gruppen bezogen auf Alter, Größe, Gewicht, BMI und Fettmassen-Index (FMI) können der Tabelle 6 entnommen werden. Das Durchschnittsalter der für die Studie rekrutierten Probanden lag zu Studienbeginn bei ca. 45,8 Jahren. Im Vergleich zur Beintrainingsgruppe war die Galileogruppe im Durchschnitt um 6,8 Jahre jünger bei einem Altersdurchschnitt von 42,7 Jahren ( $p = 0,04$ ). In Bezug auf die Körpergröße ließ beim Vergleich der beiden Gruppen feststellen, dass die Probanden der Galileogruppe mit 1,69 m um ca. 4 cm größer waren ( $p = 0,049$ ).

**Tab. 5 Ausgangswerte der Studienteilnehmer in den beiden Gruppen**

Kriterien	Gesamt	Galileogruppe	Beinmuskelgruppe	p-Wert
<b>Alter (Jahre)*</b>	45,8±10,3	42,7±11,2	49,5±7,7	0,040
<b>Größe (m)*</b>	1,67±0,07	1,69±0,06	1,65±0,07	0,049
<b>Gewicht (kg)*</b>	86,4±18,6	89,3±18,9	82,8±18,1	0,363
<b>BMI</b>				
Mittelwert±SD	31±7,0	31,2±6,5	30,7±7,6	
Median	28,9	30,0	28,2	
Qu	25,1	26,6	24,8	
Qo	35,4	35,4	34,6	
<b>FMI</b>				
Mittelwert±SD	14,8±5,1	14,8±5,2	14,7±5,1	
Median	14,0	14,6	13,4	
Qu	11,2	11,1	10,9	
Qo	17,7	17,7	17,6	

\* Mittelwert ± Standardabweichung

Die Studienteilnehmer der Galileogruppe besaßen im Durchschnitt ein um 6,5 kg höheres Gewicht als die der Beinmuskelgruppe ( $p = 0,363$ ). Dennoch führte dies in beiden Gruppen zu einem gemittelten BMI von 31 kg/m<sup>2</sup>, welcher sich an der unteren Grenze des Adipositas-Grades 1 (30-34,9) einordnen lässt. Ähnlich verhält es sich auch mit dem berechneten FMI. Dieser liegt im Durchschnitt in beiden Gruppen bei 14,8 und zählt zur Adipositas-Klasse 1. Die Berechnung des FMI führt zu einer geringeren Fehlerberechnung als die Berechnung des BMI, da der FMI auf der Berechnung der Fettmasse und nicht auf der Berechnung des Gewichts,

welches auch die Muskelmasse beinhaltet, beruht. [53] Aus Tabelle 5 geht die genaue Einteilung der FMI- und BMI-Klassen hervor.

**Tab. 6 Einteilung der FMI und BMI Klassen**

BMI Klassen (BMI = Gewicht kg/Größe <sup>2</sup> )				FMI Klassen (FMI = Fettmasse FM/Größe <sup>2</sup> )			
Klasse	BMI	Häufigkeit	Prozent	Klassen	FMI	Häufigkeit	Prozent
1. Normalgewicht	18,5-24,9	7	18,4	1. ernsthaftes Fettdefizit	<3,5	0	0
2. Präadipositas	25-29,9	15	39,5	2. mäßiges Fettdefizit	3,5 bis <4	0	0
3. Adipositas Grad I	30-34,9	6	15,8	3. geringes Fettdefizit	4 bis <5	1	2,6
4. Adipositas Grad II	35-39,9	4	10,5	4. normal	5 bis 9	3	7,9
5. Adipositas Grad III	>40	6	15,8	5. Fettüberschuss	>9 bis 13	14	36,8
Gesamt		38	100	6. Adipositas Klasse 1	>13 bis 17	10	26,3
				7. Adipositas Klasse 2	>17 bis 21	4	10,5
				8. Adipositas Klasse 3	>21	6	15,8
				Gesamt		38	100

Gemäß dem Studienprotokoll nahmen 38 der 50 eingeschlossenen Studienteilnehmer an der Studie bis zum Ende teil (76 %, vgl. Tab. 7). In der Galileogruppe brachen vier Probanden (16 %) und in der Beinmuskelgruppe acht Probanden (32 %) die Studie ab ( $p = 0,185$ ).

**Tab. 7 Anzahl der Studienteilnehmer zu Beginn und am Ende der Studie**

Gesamt	Galileogruppe	Beinmuskelgruppe
<b>Einschluss</b>		
50	25	25
<b>Teilnehmer</b>		
38	21	17
<b>Abbrecher</b>		
12	4	8
24%	16%	32%

Die Probanden der einzelnen Gruppen gaben folgende Gründe für den Studienabbruch an:

#### Galileogruppe (Vibrationsgruppe)

- persönliche und zeitliche Gründe (zwei Teilnehmer)
- auftretende Kniebeschwerden
- stark geschwollene Beine und Überwärmung nach dem 4. Training

#### Beinmuskelgruppe

- persönliche und zeitliche Gründe (drei Teilnehmer)
- häuslicher Sturz mit Fingerbrüchen und BWS-Problemen
- Fußverstauchung im häuslichen Umfeld und längerfristige Krankheit
- Knieprobleme
- psychische Überbelastung
- langer psychosomatischer Klinikaufenthalt

## **4.3 Methoden**

### **4.3.1 Sechs-Minuten-Gehtest (six minutes walking test, 6MWT)**

Der Sechs-Minuten-Gehtest ist ein Belastungstest, der erstmals 1986 als praktischer Bewegungstest von David P. Lipkin (Hammersmith Hospital, London) eingeführt wurde. [54] Bei diesem Test wird die in sechs Minuten auf einer flachen Ebene zurückgelegte Gehstrecke gemessen. Die Ergebnisse des Sechs-Minuten-Tests sind vergleichbar mit den des Fahrradergometers, des Laufbandes [54] und des ursprünglich von Kenneth H. Cooper 1968 für den US-Militärgebrauch entwickelten Zwölf-Minuten-Gehtest, einem Praxistest zur Vorhersage der maximalen Sauerstoffaufnahme vergleichbar. [55] In der Literatur wird der 6MWT als ein Test beschrieben, welcher sehr kostengünstig und zuverlässig ist und sehr gut die Aktivität des täglichen Lebens reflektiert. [54] [56] Des Weiteren hat sich der Sechs-Minuten-Gehtest als wertvolles Instrument zur Bewertung der sportlichen Leistungsfähigkeit [54] in verschiedensten klinischen Studien erwiesen. [54] [57] Die Änderung der Gehstrecke im Sechs-Minuten-Gehtest kann daher gut zur Abschätzung des Therapieerfolges einer Trainingstherapieanwendung genutzt werden.

In dieser Studie wurde der Gehtest im Verbindungsflur zweier Institutskomplexe durchgeführt. Die Streckenlänge betrug hierbei 116 m. Die Kehrtwende erfolgte nach 58 m an der ersten Ecke des Flures. Die Studienteilnehmer wurden angehalten, eine größtmögliche Strecke innerhalb von sechs Minuten zurückzulegen ohne dabei zu rennen. Das Anhalten und Einlegen von Pausen war erlaubt, sofern dies als erforderlich empfunden wurde. Den Probanden wurde empfohlen sich vorzustellen, dass sie zu spät losgegangen seien um ihren Zug zu bekommen und müssten sich nun beeilen um ihn dennoch zu erreichen. Zur Orientierung erfolgte jede Minute die Zeitansage. Nach dem Ende der Zeit wurde laut „Stopp“ gerufen, welches die Teilnehmer aufforderte sofort stehen zu bleiben, so dass die zurückgelegte Gehstrecke gemessen werden konnte. Nach dem Gehtest fand eine Befragung zu den Beschwerden statt, die bei den Patienten während und nach dem Laufen aufgetreten waren.

### **4.3.2 Dolorimeter**

Zur Beurteilung der Veränderung der Schmerzempfindlichkeit im Beinbereich der Lipödempatienten kam die Dolorimetermessung zum Einsatz. Diese Untersuchungsmethode, auch als Druckalgometrie bekannt, wird zur Beurteilung der Sensitivität gegenüber Schmerzen und zur Beurteilung der Druckempfindlichkeit genutzt. [58] Letztendlich wird die Druckschmerzschwelle gemessen, also der minimale Druck, welcher Schmerzen oder Unbehaglichkeit induziert. [58]

Die Messung der Druckschmerzschwelle erfolgte an mehreren Punkten des Beins mit einem Handdolorimetergerät nach Andrew A. Fischer der Firma pain diagnostic and thermography (pdt), Great Neck, NY (vgl. Abb. 40 im Anhang) mit einer möglichen Messspanne von 0-5 kg/cm<sup>2</sup> und mit kleinstmöglichen Messschritten von 50g/cm<sup>2</sup>. Das Dolorimetermessgerät registriert die Kraft in kg/cm<sup>2</sup>, die durch die Messspitze des Gerätes auf das Gewebe übertragen wird. [59] Das Druckschwellenmessgerät besteht aus einem runden Körper, das sich zur Form eines Metallstabes verlängert. Am Ende des Metallstabes befindet sich ein Außengewinde, welches als Messspitze eine Gummiplatte (0,9 cm Gummiplattendurchmesser) aufweist. [58] Der mit der Hand hervorgerufene Druck wird über den Metallstab auf die kleine Gummiplatte und dann auf den Körper übertragen und bewegt dabei die Indikatornadel im Uhrzeigersinn. [58] Die Nadel zeigt die erreichte Druckstärke so lange an, bis ein am Gerät befindlicher Knopf ausgelöst wird, der die Nadel wieder zur Nullposition zurückspringen lässt. [58] Dies ermöglicht ein ruhiges Ablesen der Ergebnisse der Messung.

Die Untersuchung wurde in liegender Position an den entkleideten Beinen der Studienteilnehmer durchgeführt. Es erfolgte die Messung von acht Druckpunkten auf der Vorderseite jedes Beines, gefolgt von der Messung weiterer neun Messpunkte auf der Rückseite jedes einzelnen Beines. Insgesamt wurden so 17 definierte Druckpunkte pro Bein in kg/cm<sup>2</sup> gemessen (siehe Anhang Untersuchungs- und Messbögen). Die Druckapplikation erfolgte senkrecht zum Gewebe mit einer gleichmäßigen Drucksteigerung von 1 kg pro Sekunde. Die Studienteilnehmer wurden angehalten sofort „Stopp“ zu rufen, sobald sie den Druck als unangenehm empfanden und dieser in Schmerzen überging. Die derart erhaltenen Ergebnisse wurden auf den Messbögen notiert.

### **4.3.3 Dual-Röntgen-Absorptiometrie (DXA – dual x-ray-absorptiometry)**

#### **4.3.3.1 Technische Grundlagen der DXA**

Der Grundgedanke der DXA-Methode besteht in der Überlegung, dass die verschiedenen Gewebe des Körpers energetische Strahlung unterschiedlich absorbieren. [60] Auf dieser Grundlage können heutzutage die Hauptkomponenten der Körperzusammensetzung aus Knochenmineralien (Knochen), Magerweichtgewebe (knochenlose fettfreie Masse, bestehend aus Proteinen, Glykogen, Mineralien und Wasser [61]) und Fettmasse des gesamte Körpers oder auch nur bestimmter Körperregionen berechnet werden. [62]

Ursprünglich diente die DXA nur zur Bestimmung des Mineralgehaltes im Knochen [63] und wird heutzutage als Goldstandard zur Diagnostik der Osteopenie und der Osteoporose angesehen. [62] Die umfassende Analyse der Körperzusammensetzung erwies sich jedoch auch als hilfreich bei der Untersuchung metabolischer und endokriner Störungen (Wachstumstörungen), der Beurteilung des Ernährungszustandes, der Abschätzung von Krankheitsrisiken, der körperlichen Fitness sowie der Effektivität von Eingriffen. [64] [65]

Die DXA-Methode ging aus der Einzel-Photonen-Absorptiometrie hervor, die sich um 1960 entwickelte und die zur Messung der Knochenmassen genutzt wurde. [66] Generell benötigt die Photonensorptiometrie eine Photonenquelle und einen Detektor. [66] Früher wurden für die Einzel-Photonen-Absorptiometrie Iod oder Americium als Photonenquelle, d.h. als monoenergetische Radionukleotidquelle, verwendet. [66] 1981 entwickelte sich daraus das Konzept der Dualen-Photonen-Absorptiometrie. [63] Hierbei wurden die monoenergetischen Quellen durch eine duale Energiequelle mit Cadmium oder Gadolinium ersetzt. [66] Eine Weiterentwicklung der Dualen-Photonen-Absorptiometrie stellt die Duale-Röntgen-Absorptiometrie dar. [60] Als Strahler kommt hierbei anstelle der Radionukleotidquelle eine Röntgenquelle zum Einsatz. [66] Diese neue Methode trug zur Verbesserung der Bildschärfe und der Bildauflösung sowie zur Steigerung der Genauigkeit bei. [67]

Die Röntgenquelle des DXA-Systems produziert ein polychromatisches Photonenspektrum, [68] welches durch einen entsprechenden Filter in zwei Hauptphotonenmaxima aufgetrennt wird. [66] Beim Durchdringen des Gewebes des Körpers (Absorber) verlieren die Photonen exponentiell einen Teil ihrer Strahlungsenergie an die Elektronen durch Absorption (photoelektrischer Effekt) und Streuung (Compton-Streuungseffekt) und werden somit abgeschwächt. [66] [69] Die Abschwächung der Photonenenergie bei der Durchdringung des Gewebes hängt von der Größe der ursprünglichen Photonenenergie, der Masse pro  $\text{cm}^2$  des Absorbermaterials und des Massenschwächungskoeffizientens des Absorbers ab. [70] Der Massenschwächungskoeffizient für das jeweilige Absorbermaterial besitzt bei jeder gegebenen Photonenenergie einen konstanten Wert. [70] Die Abschwächung der niedrigen Energiestufe der Photonenenergie im Verhältnis zur Abschwächung der hohen Energiestufe wird durch einen Quotient (R) beschrieben. [66] Jedes Element besitzt einen charakteristischen, konstanten Massenschwächungskoeffizienten bei 40 und 70 keV und somit einen ganz bestimmten R-Wert. [63] [66]

Mit Hilfe moderner, integrierter elektronischer Detektorsysteme wird die jeweilige Abschwächung der von der radioaktiven Quelle ausgesandten Photonen, die das Gewebe durchdringen, analysiert. [63]

Die relative Abschwächung der zwei einzelnen Photonenströme ist abhängig von der Zusammensetzung der Elemente des Gewebes. [63] Elemente mit hohen Ordnungszahlen, wie z.B. Natrium, Kalium, Phosphor, Chlorid und Calcium, erfahren eine hohe Abschwächung und besitzen so einen hohen Massenschwächungskoeffizienten und einen damit verbundenen hohen R-Wert. [63] Der Knochen, reich an Calcium und Phosphor, stellt dafür ein gutes Beispiel dar. [63] Fett dagegen besteht im Vergleich dazu hauptsächlich aus Kohlen- und Wasserstoff, also Elementen einer niedrigen Ordnungszahl und somit einem niedrigen R-Wert. [63] Magerweichgewebe besitzt einen mittleren R-Wert, da es aus Sauerstoff und Elektrolyten aufgebaut ist. [63]

Mit dem Scannerarm des DXA-Gerätes wird der Körper des Patienten von Kopf bis Fuß abgetastet. [71] Hierbei wird der Körper in drei, durch verschiedene Röntgenabschwächungseigenschaften unterscheidbare Hauptkomponenten aufgegliedert: Fett, Knochenminerale und Magerweichgewebe. [66] Aus dem dreidimensionalen Körper (Absorband) wird ein zweidimensionales flaches Röntgenbild erstellt. [69] Dieses zweidimensionale Röntgenbild besteht aus vielen kleinen Bildpunkten, sogenannten Pixeln. [70] Jedes Pixel ist gleich groß und stellt eine Momentaufnahme während des Scannens dar. [70]

### **4.3.3.2 DXA-Untersuchung**

Die Ganzkörperuntersuchung erfolgte mit der DXA im Charité-Campus Benjamin Franklin in Berlin-Steglitz. Hierfür wurde ein gesonderter Termin mit dem Minerallabor des Knochenforschungszentrums zeitnah zu den drei Untersuchungszeitpunkten (U1-U3) vereinbart.

Zur Anwendung kam bei der Ganzkörperuntersuchung das Modell Lunar Prodigy Advance der Firma Lunar, Madison, Wisconsin (USA) (vgl. Abb. 43 im Anhang) mit einem schmalen Fächerstrahl und einer maximalen Röntgenröhrenspannung von 76 kV. Der vorhandene Cerium-K-Kantenfilter spaltet das erzeugte Photonenspektrum in die zwei Hauptphotonenmaxima mit je  $\sim 40$  keV und  $\sim 70$  keV auf. [66] Der Scannertisch des DXA-Gerätes weist folgende Abmessungen auf: Länge 263 cm, Höhe 109 cm, Breite 128 cm. Für die Ganzkörperuntersuchung steht ein Scan-Bereich von 197,5 cm mal 60 cm Messbreite zur Verfügung. Das maximale unterstützte Patientengewicht liegt bei 159 kg.

Die Röntgenröhre befindet sich im Untersuchungstisch unterhalb des auf dem Rücken liegenden Patienten [70] und bewegt sich während des Scan-Prozesses entsprechend den rechtwinkligen Abtastbewegungen des über dem Objekt befindlichen beweglichen Detektorarmes. [70] In Abhängigkeit von der gewählten Scan-Stufe dauert die Ganzkörperscannung ca. 5 min. [61] [70] In dieser Zeit muss der Körper ruhig gehalten werden. [70]

Nach dem Scannen der Patienten erfolgt die Berechnung und die Auswertung am Computer [70] unter Zuhilfenahme der Ganzkörper-Analysesoftware enCORE™. Bei der Übersicht der Ergebnisse wird der Körper in folgende Bereiche aufgeteilt: Arm links und rechts, Bein links und rechts, Rumpf, Gesamtkörper links und rechts sowie das Gesamtgewicht des Körpers. [70]

Für die Studie wurden mit dem DXA-Gerät folgende Werte berechnet: prozentuales Fettgewebe, Gewebe-, Fett-, Mager- und Knochenmasse in g, Gesamtmasse in kg (Gesamt) sowie die Fettmassenverhältnisse von Rumpf/Gesamt, Arm/Gesamt und (Arm+Bein)/Rumpf.

#### **4.3.4 Perometer**

Zur Messung des Volumens der Extremitäten können verschiedene Techniken verwendet werden, wie zum Beispiel die Wasserverdrängungstechnik, die Technik der optoelektronischen Volumenmessung und die sogenannte indirekte Methode mit der Messbandtechnik, die Kegelstumpf- und Scheibenmodellenmethode. [72]

Zur Dokumentation der zeitlichen Veränderungen der Beinvolumina kam in dieser Studie das Perometermessgerät Typ 400 T der Pero-System Meßgeräte GmbH mit der Software PeroPlus 2000 zur Anwendung (vgl. Abb. 41 im Anhang). Bei dem Perometermessgerät handelt es sich um ein optoelektronisches Messgerät, das zur Messung der Umfänge, der Konturen- und Profilflächen sowie des Volumens der Arme und der Beine genutzt wird. [73]

Das Perometergerät besteht aus einem an einer Seite vertikal über eine Schiene gleitenden, quadratischen Messrahmen und wird zur Messung entlang der vertikalen Achse der Extremitäten bewegt. [72] [74] Die Messung der Beine wird jeweils getrennt hintereinander an den entkleideten Beinen durchgeführt. Zur Messung wird eines der beiden Beine senkrecht, in einer entspannten Position, die gesamte Fußsohle flach und zentriert auf der vom beweglichen Messrahmen umgebenden Fußplatte platziert. Der Rahmen des Gerätes wird manuell in seiner Führungsschiene entlang des Beines vom Knöchel bis nach oben zum Oberschenkel hin und wieder zurück zum Knöchel geführt. Für die Scanzeit von ca. fünf Sekunden müssen die Probanden still stehen bleiben. [74]

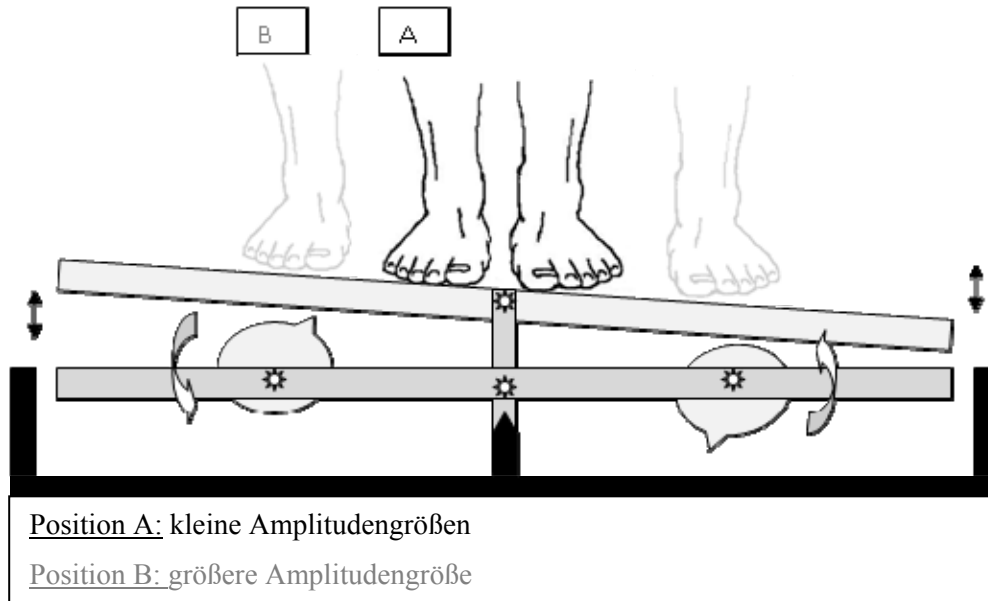
Im sich nach oben und unten bewegenden Messrahmen befinden sich ca. 378 Lichtdioden. [74] Jede emittierende Diode sendet einen frequenzmodulierenden Infrarotlichtstrahl aus, auf den nur drei detektierende Dioden empfindlich reagieren. [74] [75] Die Signale unterscheiden sich durch die Frequenzmodulation, wodurch die Position des Beines in diesem Punkt genau berechnet werden kann. [74] Eine Skizze zum Messprinzip des Perometergerätes befindet sich im Anhang (Abb. 42). Wenn der Rahmen entlang des Beines nach oben fährt, wird der Weg des photoelektrischen Strahles durch die Extremität in den zwei Ebenen unterbrochen. [74] Der Durchmesser der Extremität kann durch die Anzahl der Lichtdioden, welche durch die Extremität abgeschwächt werden, auf eine Genauigkeit von +/- 2,54 mm berechnet werden. [74] Das Volumen der Beine wird dann automatisch durch die große Anzahl der vertikalen und horizontalen Durchmesserberechnungen der elliptischen oder zirkulären Querprofile berechnet, welche in einem Abstand von 3,1 mm ermittelt werden. [72] [73] Die Daten werden dann direkt an einen mit dem Gerät verbundenen Computer zur Bilddarstellung weitergegeben. [74] Mit einer bestimmten Software wird dann das Gesamtvolumen ermittelt. [74]

#### **4.3.5 Galileotrainingsgerät – Erzeugung von Ganzkörpervibrationen**

Das in dieser Studie eingesetzte Trainingsgerät „Galileo 2000 – Muskeltraining für den Klinik- und Rehabereich“ (siehe Abb. 39 im Anhang) wird von der Firma Novotec Medical GmbH aus Pforzheim (Deutschland) hergestellt. Das Gerät besteht aus einer Plattform als Trainingsfläche von 70 cm mal 28 cm, einem Haltegriff und wiegt ca. 77 kg. Die maximale Belastbarkeit des Gerätes liegt bei 200 kg und eignet sich daher besonders gut für das Training von großen und schweren Patienten. [76] Üblicherweise wird das Galileogerät in stehender Position, mit beiden Füßen parallel zueinander, genutzt. [77]

Das Galileotrainingsgerät erzeugt sinusförmige Schwingungen mittels exzentrischer Gegenphasenrotation zweier Massen, welche sich unterhalb der Plattform befinden und diese in Vibrationen versetzen. [28] Die Funktionsweise des Gerätes ähnelt einer Wippe (siehe Abb. 3).



Abb. 3 hypothetischer Funktionsprinzip des Galileotrainingsgerätes<sup>3</sup>

Die rechte und die linke Seite der Plattform wird abwechselnd beschleunigt; wird also das linke Bein zum Kopf hin bewegt, wird das rechte Bein entgegen dieser Bewegung gedehnt. [78] Die in Vibrationen versetzte Trainingsplattform erzeugt so Ganzkörpervibrationen, welche reflektorisch und rhythmisch zwischen der rechten und linken Körperhälfte wechseln, so dass die Muskulatur durch einen ständigen Anspannungswechsel des Agonisten und Antagonisten stimuliert wird. [76] Die Wirbelsäule wird hierbei in eine leichte seitliche, physiologische Kipp-Bewegung gebracht, wodurch die menschliche Gangart in der Form eines hochfrequenten Treppensteigens simuliert wird [76].

Das Galileo-2000-Trainingsgerät arbeitet mit einer Amplitudengröße von  $0 \pm 6$  mm, wobei die Amplitudengröße am Außenrand der Trainingsplattform am größten ist. Die einstellbare Frequenz des Gerätes liegt bei 5 bis 30 Hz.

In der Muskulatur wird ab einer Frequenz von ca. 12 Hz der so genannte "Dehnreflex" ausgelöst, welcher eine Kontraktion der Muskulatur in den Beinen, im Bauch und im Rumpf bis hinauf in den Rücken bewirkt. [76] Über die Trainingsfrequenz kann die Anzahl der Dehnungsreflexe pro Sekunde reguliert werden. [76] Die Wahl der Trainingsfrequenz hat unmittelbaren Einfluss auf den Effekt des Galileotrainings und sollte entsprechend dem Trainingsziel ausgewählt werden. [76]

<sup>3</sup> Von der Verfasserin erstellte Abbildung auf Grundlage von [51].

Die niedrigen Frequenzen von 5 bis 12 Hz fördern die Mobilisation, die mittleren Frequenzen von 12 bis 20 Hz dienen dem Training der Muskelfunktion und ab Frequenzen von 20 bis 30 Hz erfolgt die Steigerung der Muskelleistung. [76] Vereinfacht kann man bei dem Vibrationstraining von einer passiven Art der Stimulation und Kräftigung der Muskulatur sprechen, da diese Muskelreflexe nicht vom Willen des Trainierenden gesteuert werden, sondern unwillkürlich über das Rückenmark erfolgen. [76]

#### **4.3.6 Galileotraining (Vibrationstraining)**

Das Galileotraining erfolgte für die Galileogruppe zweimal pro Woche mit mindestens einem Tag Trainingspause zwischen den Trainingseinheiten. Insgesamt wurden so in sechs Wochen zwölf Trainingseinheiten absolviert. Die Frequenz lag dabei bei 20 Hz und entsprechend der physischen Leistungsfähigkeit wurde eine Amplitudengröße von 2 bzw. 4 mm gewählt (Fußposition zwei bis vier auf der Plattform). Die maximale Beschleunigung der sinusförmigen Schwingungen variierte demnach nach vereinfachten mathematischen Berechnungen zwischen 1,3 g und 2,6 g. Dies entspricht einer erzeugten statischen Kraft auf der Vibrationsplattform von maximal dem 2,5-fachen des Körpergewichts.

Das maximale Übungsprogramm pro Trainingseinheit lag bei 5½ min, bestehend aus maximal sechs Trainingsübungen. Jeder Trainingszyklus wurde mit 30 Sekunden begonnen und je nach Kondition der Probanden innerhalb der sechs Trainingsübungen auf maximal eine Minute je Trainingsübung gesteigert. Zwischen den einzelnen Trainingsübungen wurde eine Pause von mindestens einer Minute eingehalten.

Zur verbesserten Abschätzung des Schwierigkeitsgrades des Trainings eines jeden Probanden wurden die Teilnehmer dazu angehalten, nach dem Training das Anstrengungsempfinden sowie den Schwierigkeitsgrad des Trainings zu beurteilen. Dementsprechend erfolgte beim nächsten Training eine Anpassung der Fußposition, des Übungsprogrammes und der Trainingszeit.

Auf dem Trainingsgerät wurden sowohl statische als auch dynamische Übungen durchgeführt. Im ersten Training nahmen die Teilnehmer auf der Plattform des Trainingsgerätes eine stehende Position mit leicht gebeugten Knien (zur Abfederung der Vibrationen im Kopfbereich), aufrechter Körperhaltung und einer geschlossenen Fußposition ein. Die Fußposition des Teilnehmers beeinflusste hierbei die Amplitudenstärke, die Auslenkung der Trainingsplattform nach oben und nach unten. [76] Je weiter die Fußposition auf dem Gerät gewählt wurde, desto größer war die Amplitudengröße und desto anstrengender gestaltete sich das Training.

Im Rahmen des Trainings konnten sich die Probanden zur Stabilisierung des Gleichgewichtes während der Übungen an einem am Gerät befindlichen Haltebügel festhalten. Weiterhin wurden die Probanden angehalten, rutschfeste Socken auf dem Gerät zu tragen, da so ein Rutschen bei der Durchführung der Übung auf der Plattform vermieden werden konnte.

Auf dem Galileogerät können alle Übungen durchgeführt werden, mit denen auch sonst spezifische Muskeln trainiert werden. Abbildungen zu den entsprechenden Galileotrainingübungen befinden sich im Anhang dieser Arbeit.

Zum Übungsprogramm der ersten drei Wochen zählten mit steigendem Schwierigkeitsgrad Kombinationen der nachfolgend aufgezählten Übungen:

- ruhiges Stehen mit leicht gebeugten Knien (Hände am Haltebügel)
- Stehen auf den Fußspitzen
- Stehen auf den Fersen
- Stehen auf einem Bein
- Steigerung der Schwierigkeit der vier oben genannten Übungen durch zusätzliche mehrere langsame Kniebeuge mit einem kurzen Halten in der Hocke

Nach der dritten Woche kam es zur Einführung einer weiteren Übung, die unter dem Namen „Brückenübung“ bekannt ist. Hierbei wurde ein Aerobic-step-Gymnastikgerät vor dem Galileogerät so angeordnet, dass die mit dem Rücken auf dem Trittbrett liegenden Probanden bequem ihre Fußsohlen auf der Galileotrainingplattform platzieren konnten. Zur Steigerung des Schwierigkeitsgrades wurden die Patienten aufgefordert, während der Übung die Hüfte in die Höhe zu heben und damit eine Gerade zwischen Oberschenkel und Bauch zu schaffen („Brücke“). Weiterhin konnte diese Übung erschwert werden, indem die Übung auf den Fußspitzen oder auf den Fersen ausgeführt wurde.

### **4.3.7 Beinmuskeltraining**

Das zusammengestellte Übungsprogramm des Beinmuskeltrainings orientierte sich an der Broschüre Venengymnastik, ein spezielles, von der Firma BSN-JOBST herausgebrachtes Beintraining für Patienten mit phlebologischen und lymphatischen Erkrankungen.

Nach Rücksprache mit den Physiotherapeuten der Klinik für Physikalische Medizin und Rehabilitationsmedizin wurden zehn geeignete Übungen für die Studienteilnehmer ausgesucht und in Form einer kleinen Übungsbroschüre detailliert und anschaulich festgehalten. Das für das Beinmuskultraining erstellte Übungsprogramm mit Beschreibungen und Fotos befindet sich im Anhang dieser Arbeit.

Das Beinmuskultraining wurde innerhalb der ersten sechs Wochen in einer Gruppe von maximal fünf Probanden zweimal pro Woche für 30-40 min durchgeführt. Für die darauf folgenden sechs Wochen wurden die Teilnehmer zum selbstständigen zwei- bis dreimaligen Üben pro Woche im eigenen Heim, gemäß dem erlernten Übungsprogramm, angehalten.

### **4.3.8 Fragebögen**

Eine Anamneseerhebung erfolgte zur Medikamenteneinnahme, zu den bekannten Vorerkrankungen, Erkrankungen in der Familie und zum Beginn der Lipödemerkrankung. Im Rahmen der Untersuchungen im Studienverlauf sowie begleitend zum Training wurde mit Hilfe von Fragebögen der Gesundheitszustand, die Veränderung des Krankheitsbildes, die Anstrengung und der Schwierigkeitsgrad des Trainings, die Lymphdrainagebehandlung, die sportliche Aktivität sowie die Lebensqualität erfasst. Die einzelnen Fragebögen können dem Anhang entnommen werden.

Die Erfassung der subjektiven Bewertung der Schwellung, der Schmerzen, der Hämatomneigung der Beine und der allgemeinen Mobilität (bezogen auf die Laufstreckenlänge und die Ausdauer beim Laufen) erfolgte mit Hilfe eines selbst entworfenen Fragebogens. Die Fragebogenform orientierte sich hierbei an dem NRS-Fragebogen zur Schmerzeinschätzung mit einer Skala von 0-10 (NRS – numeric rating scale, also numerische Einschätzungsskala). Dabei steht die Zahl 0 für keine Beschwerden bzw. keine Laufleistung und die Zahl 10 für die maximal vorstellbaren Beschwerden (Schmerzen, Schwellung, Hämatomneigung) und einer bestmöglichen Laufleistung bzw. Ausdauer. Diese abgewandelten Fragebögen können dem Anhang entnommen werden. Die subjektive Verbesserung dieser Beschwerden wurde anhand des gleichen Fragebogenstils erfasst. Eine Mehrfachantwortmöglichkeit umfasste die Befragung zur Schmerzlokalisierung „wo“ (Zehen, Füße, Unterschenkel, Knie, Oberschenkel, Rücken) und zum Auftreten der Schmerzen „wann“ (in Ruhe, in Bewegung, auf Druck, unter Einflüssen warmer/kalter Temperatur).

Mithilfe der RPE-Skala (ratings of perceived exertion – Schätzung der wahrgenommenen Kraftanstrengung) des schwedischen Physiologen Gunnar Borg, einer Skala von 6 bis 20, erfolgte die Feststellung des Anstrengungsempfindens des Trainings. Nach jedem Training erfolgte neben dem Anstrengungsempfinden auch die Befragung zur Einschätzung des persönlichen Schwierigkeitsgrades des Trainings. Die Studienteilnehmer wurden dazu aufgefordert das Training durch Ankreuzen einer der folgenden Aussagen zu bewerten: „zu leicht“, „zu leicht bis genau richtig“, „genau richtig“, „genau richtig bis zu schwer“, „zu schwer“. Durch diese subjektive Beurteilung des Anstrengungsempfindens und des Schwierigkeitsgrades des Trainings konnten die Probanden zu einem individuellen, ihrer Fitness angepassten Training beitragen. Im Zusammenhang mit der Erfassung des Schwierigkeitsgrades des Trainings wurden die Probanden auch nach Symptomen, Problemen oder Übungsbeschwerden nach dem Training und während des Trainings befragt.

Die Teilnehmer des Beinmuskeltrainings erhielten zusätzlich einen Fragebogen zur Erfassung der Trainingshäufigkeit und zu auftretenden Beschwerden bei dem zu Hause selbstständig durchgeführten Training.

### **4.3.9 Statistik**

Die statistischen Analysen wurden mit der PASW/SPSS Version 18.0 für Windows durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde dabei auf  $\alpha = 0,05$  festgelegt. Alle metrisch skalierten Daten wurden anfangs auf das Vorhandensein der Normalverteilung überprüft, unter Anwendung des Kolmogorov-Smirnov-Tests für Normalverteilung und mit Hilfe der grafischen Darstellung der Verteilung im Histogramm mit der Normalverteilungslinie. Zur Prüfung der Varianzgleichheit kam der Levene-Test zur Anwendung.

Die Daten der DXA-Untersuchung sowie der Dolorimetermessung wurden als normalverteilt angenommen. Die Unterscheidung zwischen der Galileogruppe und der Beinmuskelgruppe erfolgte mit dem t-Test für unverbundene Stichproben. Die Veränderungen innerhalb der Gruppen wurden mit dem t-Test für verbundene Stichproben geprüft.

Zur statistischen Auswertung der Daten des Sechs-Minuten-Gehtests, der Perometermessung sowie zur Auswertung der Fragebögen kamen nicht-parametrische Tests zur Anwendung, da nicht angenommen werden konnte, dass die Daten normal verteilt sind.

Zu den hier in der Arbeit angewendeten, nicht-parametrischen Tests zählen der Friedman-Test und der Mann-Whitney-Test (U-Test). Der Friedman-Test ist ein Test für mehr als zwei verbundene Stichproben, welcher die Veränderungen zwischen den drei Untersuchungszeitpunkten (U1, U2, U3) innerhalb der jeweiligen Gruppen prüft. Die Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeiträumen U1 zu U2, U2 zu U3 und U1 zu U3 wurden zwischen der Galileogruppe und der Beintrainingsgruppe mit dem Mann-Whitney-Test untersucht, einem Rangsummentest zum Vergleich zweier unverbundener Stichproben.

Die Überprüfung der nominal oder ordinal skalierten Variablen erfolgte mit Hilfe des Chi-Quadrattests nach Pearson für Kreuztabellen.

Die lineare Korrelationsanalyse nach Pearson erfolgte, um Zusammenhänge zwischen zwei quantitativen Merkmalen zu untersuchen. [79] Maßzahl für die Stärke und Richtung eines linearen Zusammenhanges ist hierbei der Korrelationskoeffizient  $r$ , welcher in dieser Arbeit als Bestimmtheitsmaß  $r^2$  angegeben wird. Eine Abweichung von dieser Darstellung erfolgt lediglich bei der Darstellung der Korrelation zwischen den Mittelwerten der sechs Messbereiche des Beines und den Mittelwerten der vom gesamten Bein erhobenen Dolorimetermessdaten.

Die wichtigsten Variablen wurden grafisch in Boxplots dargestellt, aus denen die Mediane, Quartile (untere Quartil  $Q_u$ , 25. Perzentil sowie obere Quartil  $Q_o$ , 75. Perzentil), Ausreißer und die Schiefe der Verteilung entnommen werden können.

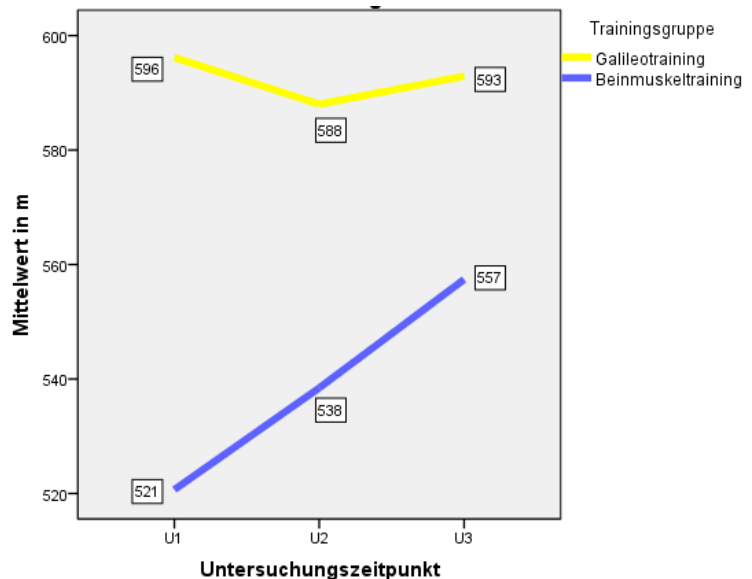
## 5. Ergebnisse

### 5.1 Die klinischen Untersuchungen

#### 5.1.1 Sechs-Minuten-Gehtest

Aus Abb. 4 geht die Laufleistung der beiden Gruppen hervor. Auffällig ist dabei, dass die Galileo-Gruppe eine signifikant höhere Baseline besitzt ( $p < 0,049$ ). Trotzdem wurde von der Angabe der prozentualen Veränderungen abgesehen und gemäß den Empfehlungen der American Thoracic Society die Änderungen des Sechs-Minuten-Gehtests in den absoluten Werten angegeben. [57]

Abb. 4 Laufleistung der beiden Trainingsgruppen im Sechs-Minuten-Gehtest zu den drei Untersuchungszeiträumen.



Die Analyse der Veränderung der Laufleistung erfolgte getrennt in der Beinmuskel- und Galileo-Gruppe unter Anwendung des Friedman-Tests. Es kam hierbei zu keinen signifikanten Veränderungen ( $p > 0,05$ ), welche neben den Medianen, 1. und 3. Quartile sowie den Mittelwerten mit den entsprechenden Standardabweichungen der Tabelle 8 entnommen werden können.

Tab. 8 Friedman-Test zum Gehtest der beiden Gruppen

Gruppe	N	1. Untersuchung-U1				2. Untersuchung-U2				3. Untersuchung-U3				Friedman Test p
		Median	Qu	Qo	Mw±SD*	Median	Qu	Qo	Mw±SD*	Median	Qu	Qo	Mw±SD*	
Beinmuskelttraining	17	541,0	492,5	599,5	520,7 ± 144,7	560,0	509,3	607,3	538,4 ± 96,4	578,0	524,8	639,0	557,4 ± 101,9	0,257
Galileo	21	589,0	542,5	648,0	596,2 ± 79,1	592,6	528,8	650,7	588,0 ± 81,6	592,0	524,3	660,2	592,9 ± 80,7	0,952

\*Mittelwert ± Standardabweichung

Zum Vergleich der Veränderungen der Laufleistungen zwischen den beiden Gruppen kam der U-Test (Mann-Whitney-Test) zur Anwendung. Die Tabelle 9 zeigt die medianen Differenzen der Laufleistung in Metern sowie deren 1. und 3. Quartile. Beim Vergleich der Laufleistungsdifferenzen im Untersuchungszeitraum U1 zu U2 zeigte sich zwischen den Gruppen kein signifikanter Unterschied mit einem p-Wert von 0,547.

Auch im Untersuchungszeitfenster U2 zu U3 mit  $p = 0,297$  sowie in der Gesamtbetrachtung des Untersuchungszeitraumes von U1 zu U3 mit  $p = 0,196$  lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen feststellen.

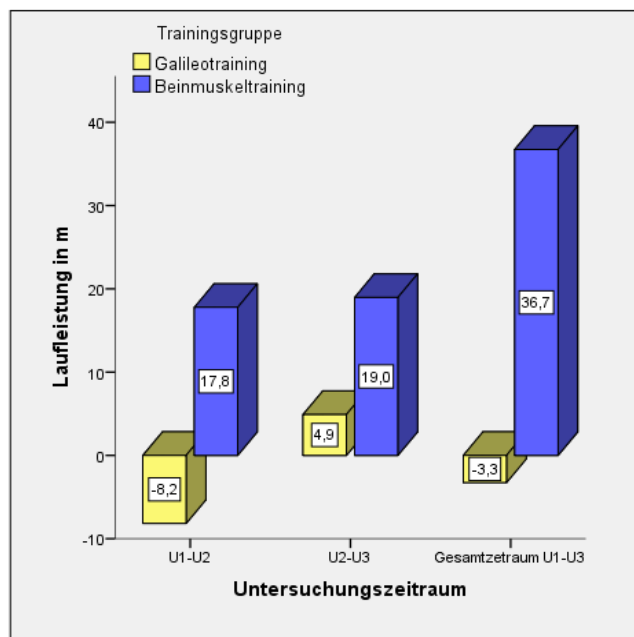
**Tab. 9 U-Test zum Vergleich der Laufleistungsdifferenzen der beiden Gruppen in Metern**

Gruppe	N	U-Test								
		U1-U2			U2-U3			U1-U3		
		Mediane*	Qu	Qo	Mediane*	Qu	Qo	Mediane*	Qu	Qo
Beintraining	17	1,0	-34,0	23,0	-12,5	-35,4	5,0	-20,9	-46,3	17,0
Galileo	21	0,0	-19,2	25,3	-5,3	-18,5	8,0	-2,8	-31,8	23,5
	<b>p-Wert</b>	0,547			0,297			0,196		

\*Differenzen der Mediane der Laufleistung in m

Vom Untersuchungszeitpunkt U1 zum Untersuchungszeitpunkt U2 kam es innerhalb der Beinmuskelgruppe im Mittel zu einer Zunahme der Laufleistung um 17,8 m, wohingegen in der Galileogruppe im Mittel eine Abnahme der Laufleistung um 8,2 m zu verzeichnen war (vgl. Abb. 5). Im Zeitraum U2 zu U3 erfolgte innerhalb der Galileogruppe eine Steigerung der Laufleistung um durchschnittlich 4,9 m. In der Beinmuskelgruppe stieg die Laufleistung im Mittel um weitere 19 m an. In der Gesamtbetrachtung des Studienzeitraumes

**Abb. 5 Änderung der Laufleistung im Gehstest in Metern bei beiden Trainingsgruppen in den Untersuchungszeiträumen**



von zwölf Wochen stellte sich in der Beinmuskelgruppe insgesamt eine gemittelte Zunahme der Laufleistung von 36,7 m ein. In der Galileogruppe zeigte sich eine gemittelte Abnahme der Laufleistung um 3,3 m.

Mit Hilfe folgender, nach Enright und Sherrill aufgestellter Regressionsformel [55] können die Referenzwerte des Sechs-Minuten-Gehtests für Frauen zwischen dem 40. und 80. Lebensjahr errechnet werden. [80] Durch die weitere Subtraktion von 139 kann zusätzlich noch der Mindestwert für Frauen berechnen werden. [80]



## Ergebnisse

$$6\text{MWT} = (2,11 \times \text{Größe in cm}) - (2,29 \times \text{Gewicht in kg}) - (5,78 \times \text{Alter in Jahren}) + 667$$

$$\text{Mindestwert des Sechs-Minuten-Gehtests} = 6\text{MWT} - 139$$

Trotz der abweichenden Altersgrenzen kam die Formel bei der Berechnung der Mindestwerte des Gehtests zum Untersuchungszeitpunkt U1 für jeden einzelnen Teilnehmer zur Anwendung. Aussagen über das Abweichen der Werte der Probanden von den Mindestwerten sind damit möglich. Die Tab. 10 und 11 geben die Mindestwerte des Gehtests und die Abweichungen der Probanden von diesen Werten wieder.

**Tab. 10** Berechnete Mindestwerte des Gehtests in Metern für die beiden Trainingsgruppen, entsprechend der Regressionsformel von Enright und Sherrill

Gruppen							
Beinmuskel				Galileo			
Mittelwert ± SD*	Median	Qu	Qo	Mittelwert ± SD*	Median	Qu	Qo
399,6 ± 61,7	389,7	364	444,8	433,1 ± 94,7	418,0	360,2	515,7

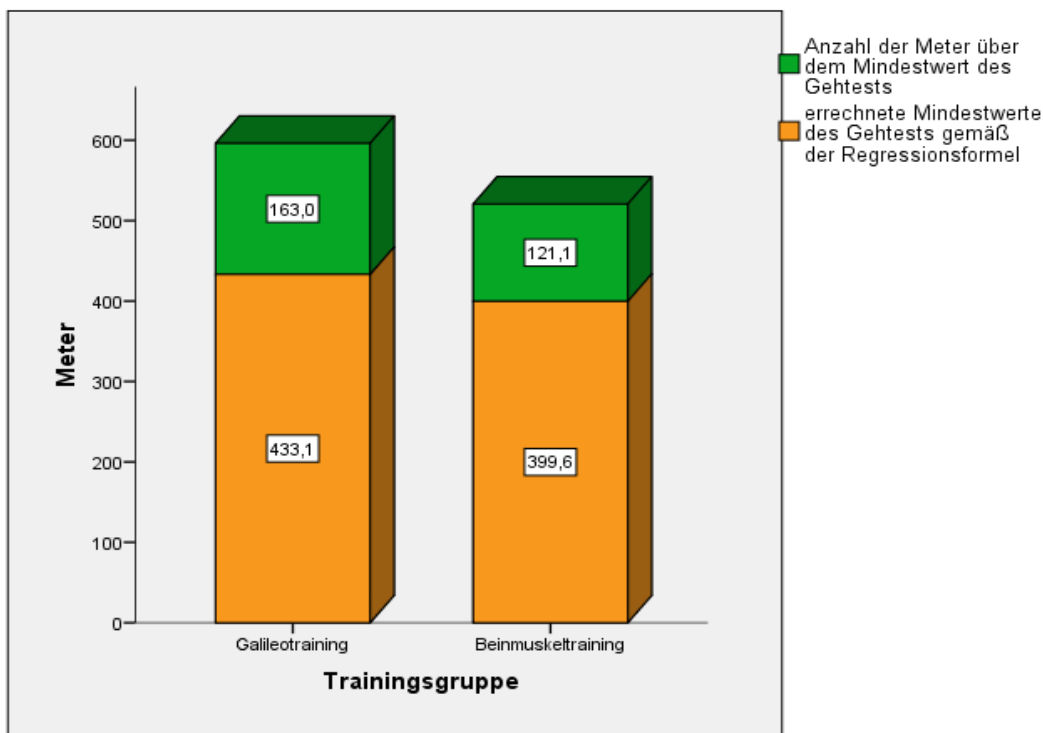
\*Mittelwerte ± Standardabweichung

**Tab. 11** Meter des Gehtests der beiden Gruppen oberhalb des berechneten Mindestwertes

Gruppen							
Beinmuskel				Galileo			
Mittelwert ± SD*	Median	Qu	Qo	Mittelwert ± SD*	Median	Qu	Qo
121,1 ± 148,6	177,9	69,2	195,4	163 ± 74,2	155,0	135,3	219,2

\*Mittelwerte ± Standardabweichung

**Abb. 6** Gegenüberstellung der errechneten Mindestwerte des Sechs-Minuten-Gehtests beider Gruppen zur Anzahl der Laufmeter beider Gruppen oberhalb des Mindestwertes



Zum Vergleich der beiden Gruppen kam der U-Test zur Anwendung, welcher jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen aufzeigen konnte. Abb. 6 zeigt, dass sowohl die Teilnehmer des Beinmuskeltrainings als auch die des Galileotrainings im berechneten Mindestwert des Gehtests liegen. Darüber hinaus wird deutlich, dass die Probanden aus beiden Trainingsgruppen Werte oberhalb des errechneten Mindestwertes des Gehtests zeigen. Die Galileo-Gruppe liegt gemittelt 163 m über dem berechneten Mindestwert von 433 m und somit auch im errechneten Normalwert des Gehtests. Das Gleiche gilt auch für die Beinmuskeltrainingsgruppe. Hier befindet sich der gemittelte berechnete Mindestwert bei ca. 400 m, womit sich die Gruppe 121 m über dem Mindestwert befindet.

### 5.1.2 Dolorimetermessung

Die statistische Auswertung der einzeln erhobenen Dolorimetermessdaten des linken und des rechten Beines erfolgte nach der Bildung des arithmetischen Mittels. Tab. 12 sind die einzelnen Mittelwerte der Dolorimetermessung mit der dazugehörigen Standardabweichung zu entnehmen.

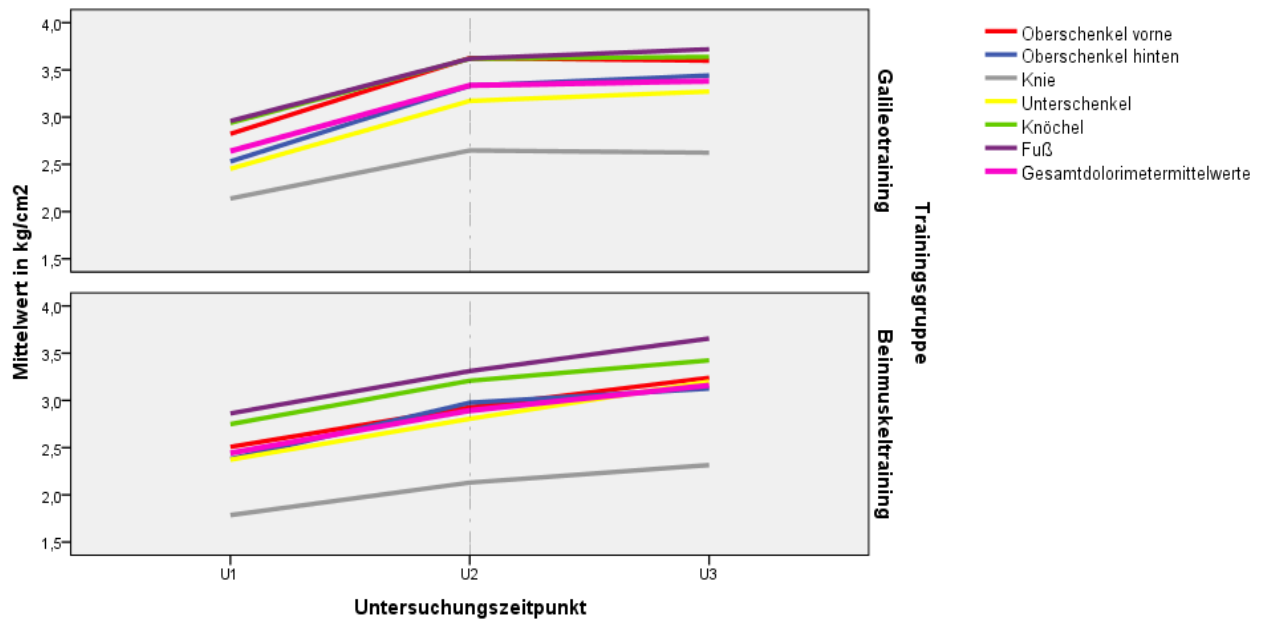
**Tab. 12 Übersicht der einzelnen Mittelwerte der Messpunkte der Dolorimetermessung der beiden Gruppen mit den dazugehörigen Standardabweichungen**

Messpunkte re+li Bein	Untersuchungszeitpunkt	Gruppen	
		Beinmuskel	Galileo
		Mittelwert in kg/cm <sup>2</sup> ±SD*	Mittelwert in kg/cm <sup>2</sup> ±SD*
gesamt	U1	2,44 ± 0,88	2,64 ± 0,93
	U2	2,89 ± 0,81	3,34 ± 1,03
	U3	3,16 ± 0,64	3,38 ± 0,92
Oberschenkel vorne	U1	2,51 ± 1,0	2,82 ± 0,20
	U2	2,93 ± 0,99	3,63 ± 0,24
	U3	3,24 ± 0,84	3,6 ± 0,23
Oberschenkel hinten	U1	2,38 ± 0,26	2,53 ± 0,23
	U2	2,98 ± 0,20	3,33 ± 0,25
	U3	3,13 ± 0,81	3,44 ± 0,24
Knie	U1	1,79 ± 0,20	2,14 ± 0,21
	U2	2,13 ± 0,22	2,65 ± 0,24
	U3	2,32 ± 0,66	2,62 ± 0,22
Unterschenkel	U1	2,37 ± 0,24	2,45 ± 0,213
	U2	2,81 ± 0,20	3,17 ± 0,25
	U3	3,20 ± 0,91	3,27 ± 0,23
Knöchel	U1	2,75 ± 0,22	2,94 ± 0,23
	U2	3,21 ± 0,20	3,62 ± 0,22
	U3	3,42 ± 0,60	3,64 ± 0,20
Fuß	U1	2,86 ± 0,24	2,96 ± 0,24
	U2	3,31 ± 0,22	3,62 ± 0,24
	U3	3,66 ± 0,60	3,72 ± 0,22

\*Mittelwerte ± Standardabweichung

Eine Übersicht der Dolorimetermessdaten der einzelnen Messpunkte der Beine zu den drei Untersuchungszeitpunkten bietet das Diagramm der Abb. 7.

**Abb. 7 Dolorimetermessung in kg/cm<sup>2</sup> der einzelne Messpunkte an den Beinen beider Gruppen zu den drei Untersuchungszeitpunkten**



Sowohl in der Beinmuskelgruppe als auch in der Galileo-Gruppe nimmt die Druckempfindlichkeit der Beine in der folgenden Reihenfolge ab:

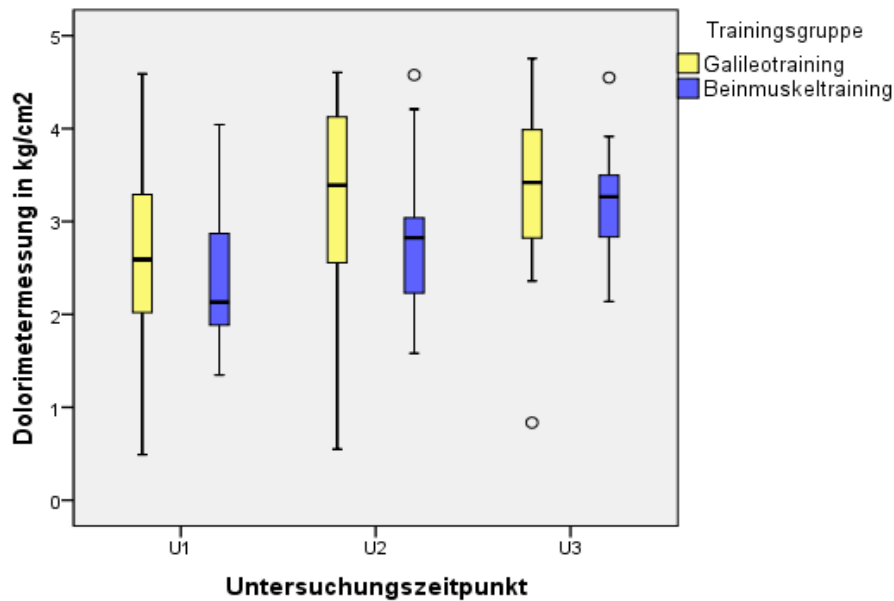
Fuß → Knöchel → Oberschenkel vorne → Oberschenkel hinten → Unterschenkel → Knie

Da die Messdaten der beiden Trainingsgruppen zu den sechs entsprechenden Messbereichen (Oberschenkel vorne und hinten, Knie, Unterschenkel, Knöchel und Füße) mit den vom gesamten Bein erhobenen Dolorimetermessdaten zu den drei Untersuchungszeiträumen eine mittelwertige bis hohe Korrelation aufweisen ( $r^2 \sim >0,7$ , mit einer Signifikanz von  $p < 0,0005$ , siehe Tab. 13), erfolgt in der Abb. 8 nur die Darstellung der Gesamtdolorimeterdaten.

**Tab. 13 Pearson-Korrelationskoeffizient  $r$  zwischen den Mittelwerten der sechs Messbereiche des Beines und den Mittelwerten der vom gesamten Bein erhobenen Dolorimetermessdaten der Probanden**

	Pearson-Korrelation Koeffizienten $r$			p-Wert
	U1 gesamt	U2 gesamt	U3 gesamt	
Oberschenkel hinten	0,939	0,805	0,918	0,000
Oberschenkel vorne	0,936	0,951	0,918	0,000
Knie	0,938	0,925	0,927	0,000
Unterschenkel	0,934	0,945	0,913	0,000
Knöchel	0,887	0,942	0,876	0,000
Fuß	0,868	0,917	0,830	0,000

**Abb. 8 Gesamtdolorimetermessdaten der Beine zu den drei Untersuchungszeitpunkten der beiden Gruppen**



Beim Vergleich der Mittelwerte der Gesamtdolorimeterdaten zu den drei Untersuchungszeitpunkten der beiden Gruppen kam der unverbundene t-Test zur Anwendung. Nach dem Prüfen auf Varianzgleichheit konnten keine signifikanten Unterschiede beim Vergleich der beiden Gruppen festgestellt werden (siehe Tab. 14).

**Tab. 14 unverbundene t-Test zum Vergleich der Mittelwerte der Gesamtdolorimeterdaten zu den drei Untersuchungszeitpunkten**

Zeit	Gruppen		p-Werte
	Beinmuskel	Galileo	
	Mittelwerte in kg/cm <sup>2</sup> ±SD*	Mittelwerte in kg/cm <sup>2</sup> ±SD*	
U1	2,44 ± 0,88	2,64 ± 0,93	0,509
U2	2,89 ± 0,81	3,34 ± 1,03	0,156
U3	3,16 ± 0,64	3,38 ± 0,92	0,407

\*Mittelwerte ± Standardabweichung

Unter Anwendung des verbundenen t-Tests erfolgte in beiden Gruppen getrennt die Überprüfung der Differenzen der Mittelwerte der sechs Messbereiche und der Gesamtdolorimetermessdaten zu den einzelnen Untersuchungszeitpunkten. Die einzelnen Werte sind der Tab. 15 zu entnehmen.

**Tab. 15** Verbundenen t-Test zum Vergleich der Differenzen der Mittelwerte der sechs Messbereiche und der Gesamtdolorimetermessdaten zu den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, getrennt nach Gruppe

Messpunkte re+li Bein	Zeitraum	Gruppen			
		Beinmuskel		Galileo	
		Mittelwertdifferenzen in kg/cm <sup>2</sup> ±SD*	p-Werte <sup>°</sup>	Mittelwertdifferenzen in kg/cm <sup>2</sup> ±SD*	p-Werte <sup>°</sup>
Gesamt	U1-U2	-0,45±0,61	<b>0,008</b>	-0,70±0,54	<b>&lt;0,0005</b>
	U2-U3	-0,27±0,42	<b>0,019</b>	-0,05±0,46	0,663
	U1-U3	-0,72±0,71	<b>0,001</b>	-0,74±0,76	<b>&lt;0,0005</b>
Oberschenkel vorne	U1-U2	-0,42±0,77	<b>0,040</b>	-0,80±0,76	<b>&lt;0,0005</b>
	U2-U3	-0,31±0,64	0,063	0,03±0,55	0,821
	U1-U3	-0,73±0,75	<b>0,001</b>	-0,77±0,79	<b>&lt;0,0005</b>
Oberschenkel hinten	U1-U2	-0,60±0,77	<b>0,005</b>	-0,80±0,76	<b>&lt;0,0005</b>
	U2-U3	-0,15±0,56	0,282	-0,11±0,66	0,469
	U1-U3	-0,75±0,93	<b>0,005</b>	-0,91±0,79	<b>&lt;0,0005</b>
Knie	U1-U2	-0,34±0,75	<b>0,002</b>	-0,51±0,61	<b>&lt;0,0005</b>
	U2-U3	-0,19±0,48	0,130	0,02±0,70	0,877
	U1-U3	-0,53±0,46	<b>0,000</b>	-0,49±0,98	<b>0,035</b>
Unterschenkel	U1-U2	-0,43±0,39	<b>0,049</b>	-0,72±0,55	<b>&lt;0,0005</b>
	U2-U3	-0,39±0,53	<b>0,007</b>	-0,10±0,54	0,412
	U1-U3	-0,83±0,91	<b>0,002</b>	-0,82±0,81	<b>&lt;0,0005</b>
Knöchel	U1-U2	-0,46±0,84	<b>0,029</b>	-0,68±0,57	<b>&lt;0,0005</b>
	U2-U3	-0,22±0,54	0,117	-0,02±0,60	0,891
	U1-U3	-0,68±0,93	<b>0,009</b>	-0,70±0,90	<b>0,002</b>
Fuß	U1-U2	-0,45±0,71	<b>0,020</b>	-0,66±0,86	<b>0,002</b>
	U2-U3	-0,34±0,50	<b>0,012</b>	-0,10±0,45	0,322
	U1-U3	-0,79±0,78	<b>0,001</b>	-0,76±0,93	<b>0,001</b>

<sup>°</sup> p-Werte des verbundenen t-Tests

In den ersten sechs Wochen der Untersuchungszeiträume U1 zu U2 sowie in der Gesamtbetrachtung des Studienzeitraumes U1 zu U3 zeigte sich eine signifikante Zunahme der Druckschmerzschwelle in beiden Gruppen. Bei den signifikanten Werten der Galileogruppe handelt es sich bis auf eine Ausnahme ( $p = 0,035$ , U1-U3, Knie) um hoch signifikante Werte, wohingegen sich die signifikanten Werte der Beinmuskelgruppe im Vergleich dazu mit  $p \leq 0,001$  als nicht so hoch signifikant bewerten lassen. Das fortlaufende Training der Beinmuskelgruppe in der zweiten Hälfte im Untersuchungszeitraum U2 zu U3 zeigte eine signifikante Zunahme der Druckschmerzschwelle im Unterschenkel mit  $p = 0,007$ , im Fuß mit  $p = 0,012$  sowie in der Gesamtbetrachtung aller Messpunkte des Beines mit  $p = 0,019$ .

Die weiteren Messbereiche des Beines im Untersuchungszeitraum U2 zu U3 der Beinmuskelgruppe befindet sich zwischen  $p = 0,063$  (Oberschenkel vorne) und  $p = 0,282$  (Oberschenkel hinten) und werden als nicht signifikant angesehen. Im Vergleich dazu liegen alle p-Werte der Galileogruppe im Untersuchungszeitraum U2 zu U3 oberhalb von  $p = 0,3$  und werden so ebenfalls als nicht signifikant bewertet.

In dem Trainingszeitraum von zwölf Wochen ließ sich in der Beinmuskelgruppe die größte Zunahme der Druckschmerzschwelle im Unterschenkel (0,83 kg/cm<sup>2</sup>), gefolgt vom Fuß (0,79 kg/cm<sup>2</sup>), dem Oberschenkel hinten (0,75 kg/cm<sup>2</sup>) sowie vorne (0,73 kg/cm<sup>2</sup>), den Knöcheln (0,68 kg/cm<sup>2</sup>) und den Knien(0,53 kg/cm<sup>2</sup>) finden. In der Galileogruppe zeigte sich eine ähnliche Reihenfolge mit der größten Zunahme der Druckschmerzschwelle jedoch im Oberschenkel hinten (0,91 kg/cm<sup>2</sup>), gefolgt vom Unterschenkel (0,82 kg/cm<sup>2</sup>), den Oberschenkeln vorne (0,77 kg/cm<sup>2</sup>) und den Füßen (0,76 kg/cm<sup>2</sup>). Die Knöchel (0,70 kg/cm<sup>2</sup>) und die Knie (0,49 kg/cm<sup>2</sup>) wiesen wie auch in der Beinmuskelgruppe die geringste Zunahme auf.

Der Vergleich der Ergebnisse der Dolorimetermessung zwischen beiden Gruppen wurde mit dem unverbundenen t-Test durchgeführt. Hierbei zeigten sich keine signifikanten Veränderungen (p>0,05), wie Tab. 16 zu entnehmen ist.

**Tab. 16 Der unverbundene t-Test zum Vergleich der Ergebnisse der Dolorimetermessung zwischen beiden Gruppen**

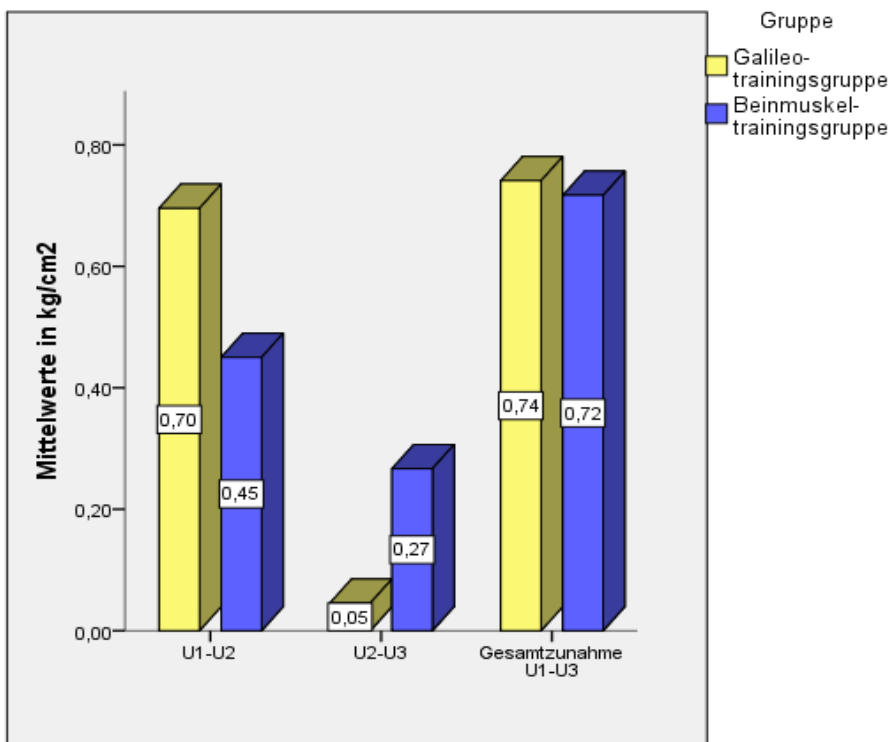
Messpunkte re+li Bein	Untersuchungszeitraum	Gruppen		p-Werte <sup>°</sup>
		Beinmuskel	Galileo	
		Mittelwertdifferenzen in kg/cm <sup>2</sup> ±SD*	Mittelwertdifferenzen in kg/cm <sup>2</sup> ±SD*	
gesamt	U1-U2	-0,45±0,61	-0,70±0,54	0,199
	U2-U3	-0,27±0,42	-0,05±0,46	0,139
	U1-U3	-0,72±0,71	-0,74±0,76	0,921
Oberschenkel vorne	U1-U2	-0,42±0,77	-0,80±0,76	0,135
	U2-U3	-0,31±0,64	0,03±0,55	0,088
	U1-U3	-0,73±0,75	-0,77±0,79	0,867
Oberschenkel hinten	U1-U2	-0,60±0,77	-0,80±0,76	0,353
	U2-U3	-0,15±0,56	-0,11±0,66	0,832
	U1-U3	-0,75±0,93	-0,91±0,79	0,561
Knie	U1-U2	-0,34±0,75	-0,51±0,61	0,305
	U2-U3	-0,19±0,48	0,02±0,70	0,300
	U1-U3	-0,53±0,46	-0,49±0,98	0,867
Unterschenkel	U1-U2	-0,43±0,39	-0,72±0,55	0,222
	U2-U3	-0,39±0,53	-0,10±0,54	0,102
	U1-U3	-0,83±0,91	-0,82±0,81	0,975
Knöchel	U1-U2	-0,46±0,84	-0,68±0,57	0,338
	U2-U3	-0,22±0,54	-0,02±0,60	0,296
	U1-U3	-0,68±0,93	-0,70±0,90	0,296
Fuß	U1-U2	-0,45±0,71	-0,66±0,86	0,421
	U2-U3	-0,34±0,50	-0,10±0,45	0,117
	U1-U3	-0,79±0,78	-0,76±0,93	0,908

<sup>°</sup> p-Werte des unverbundenen t-Tests

Im Studienzeitraum von zwölf Wochen konnte bei der Dolorimetermessung an den sechs verschiedenen Messbereichen an den Beinen die Druckschmerzschwelle der Probanden der Beinmuskelgruppe im Mittel um 0,72 kg/cm<sup>2</sup> und in der Galileogruppe um ähnliche Werte von 0,74 kg/cm<sup>2</sup> angehoben werden. Das Balkendiagramm der Abb. 9 veranschaulicht die Veränderungen bezogen auf die einzelnen Untersuchungszeiträume.

Nach den ersten sechs Wochen konnte die Druckschmerzschwelle zum Untersuchungszeitpunkt U2 in der Galileo-Gruppe im Mittel um  $0,7 \text{ kg/cm}^2$  und in der Beinmuskel-Gruppe um  $0,5 \text{ kg/cm}^2$  gesteigert werden. Nach weiteren sechs Wochen trainingsloser Zeit in der Galileo-Gruppe zeigte sich hier eine Abnahme der Druckschmerzempfindlichkeit im Mittel um weitere  $0,05 \text{ kg/cm}^2$ . Im Vergleich dazu konnte in der Beinmuskel-Gruppe eine weitere Abnahme der Druckschmerzempfindlichkeit von durchschnittlich  $0,27 \text{ kg/cm}^2$  verzeichnet werden.

**Abb. 9** Abnahme der Druckschmerzempfindlichkeit in  $\text{kg/cm}^2$  in den beiden Gruppen in den angegebenen Zeiträumen



Unter Anwendung der Pearson-Korrelation zwischen der subjektiven Schmerzeinschätzung und der Dolorimetermessung zu den drei Untersuchungszeiträumen (vgl. Tab. 17) zeigte sich lediglich zur U2-Untersuchung eine geringgradige Korrelation. Das Bestimmtheitsmaß  $r^2$  von  $0,247$  besagt, dass zu  $25\%$  die Varianz der subjektiven Schmerzeinschätzung durch die Varianz der Dolorimetermessung erklärt werden kann.

**Tab. 17** Pearson-Korrelation zwischen der Dolorimetermessung und der subjektiven Schmerzeinschätzung der Probanden mit Hilfe der NRS

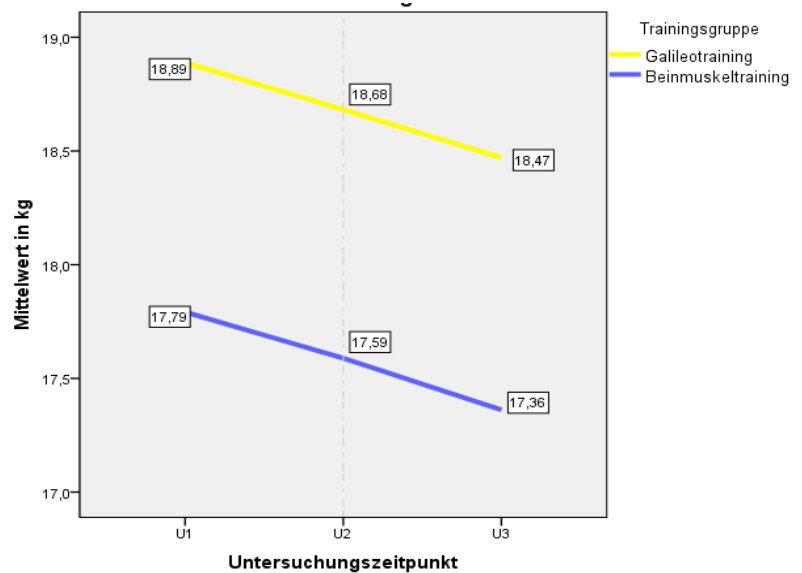
	$r^2$	p-Wert
U1	0,005	0,671
U2	0,247	0,001
U3	0,061	0,134

### 5.1.3 DXA-Untersuchung

#### Das Fettgewebe in den Beinen

Aus der nebenstehenden Abb. 10 kann die Änderung der Mittelwerte der Fettgewebsmessung zu den drei Untersuchungszeitpunkten beider Gruppen abgelesen werden. In der Tab. 18 sind die Mittelwerte und deren Standardabweichungen, die Mediane sowie das 1. und das 3. Quartil der Fettveränderung in den beiden Trainingsgruppen zu den drei Untersuchungszeitpunkten dargestellt. Die beiden Gruppen

**Abb. 10** Änderung der Mittelwerte in kg der DXA-Fettgewebsmessung zu den drei Untersuchungszeiträumen in beiden Gruppen



besitzen auch hier eine verschiedene Baseline, bezogen auf die Fettmasse in den Beinen. Die GalileoGruppe zeigt zum Untersuchungszeitraum U1 eine um 1,1 kg nicht signifikant höhere Baseline ( $p = 0,641$ ) und weist im Vergleich zu der Beintrainingsgruppe in allen drei Untersuchungszeitpunkten eine breitere Streuung der Daten auf.

**Tab. 18** Fettgewebsmasse der Beine in kg zu den entsprechenden Untersuchungszeitpunkten

Gruppe	N	1. Untersuchung (U1)				2. Untersuchung (U2)				3. Untersuchung (U3)			
		Mw±SD*	Median	Qu	Qo	Mw±SD*	Median	Qu	Qo	Mw±SD*	Median	Qu	Qo
Beinmuskel	17	17,80 ± 5,99	16,22	13,77	19,29	17,59 ± 6,21	15,73	13,70	19,35	17,36 ± 6,0	15,44	13,51	18,84
Galileo	21	18,89 ± 7,94	15,82	13,54	25,69	18,69 ± 7,64	15,83	13,37	24,99	18,48 ± 7,74	15,89	12,64	24,48

\*Mittelwert ± Standardabweichung

Unter Verwendung des verbundenen t-Tests erfolgte die Analyse der Veränderungen des Fettgewebes innerhalb jeder einzelnen Gruppe zu den drei entsprechenden Untersuchungszeiträumen (siehe Tab. 19). Weder in der Beinmuskelgruppe noch in der GalileoGruppe konnte eine signifikante Veränderung ( $p > 0,05$ ) festgestellt werden.



**Tab. 19** Verbundene t-Test zu den Veränderungen des Fettgewebes innerhalb jeder einzelnen Gruppe zu den drei entsprechenden Untersuchungszeiträumen

Untersuchungs- zeitraum	Gruppen			
	Beinmuskel		Galileo	
	Mittelwertdifferenzen in kg $\pm$ SD*	p-Werte <sup>°</sup>	Mittelwertdifferenzen in kg $\pm$ SD*	p-Werte <sup>°</sup>
U1-U2	0,203 $\pm$ 0,582	0,170	0,206 $\pm$ 0,794	0,248
U2-U3	0,227 $\pm$ 0,769	0,241	0,212 $\pm$ 0,819	0,250
U1-U3	0,430 $\pm$ 0,901	0,067	0,418 $\pm$ 1,120	0,103

\*Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung, <sup>°</sup> p-Werte des verbundenen t-Tests

Die Berechnung der Mittelwertdifferenzen der Fettveränderungen zwischen den Untersuchungszeiträumen U1 zu U2 sowie U2 zu U3 und U1 zu U3 der zwei Gruppen (vgl. Tab. 20) erfolgte mit Hilfe des unverbundenen t-Tests und zeigte keine signifikanten Veränderungen ( $p > 0,05$ ).

**Tab. 20** Unverbundene t-Tests zur Berechnung der Mittelwertdifferenzen der Fettveränderungen zwischen den Untersuchungszeiträumen der zwei Gruppen

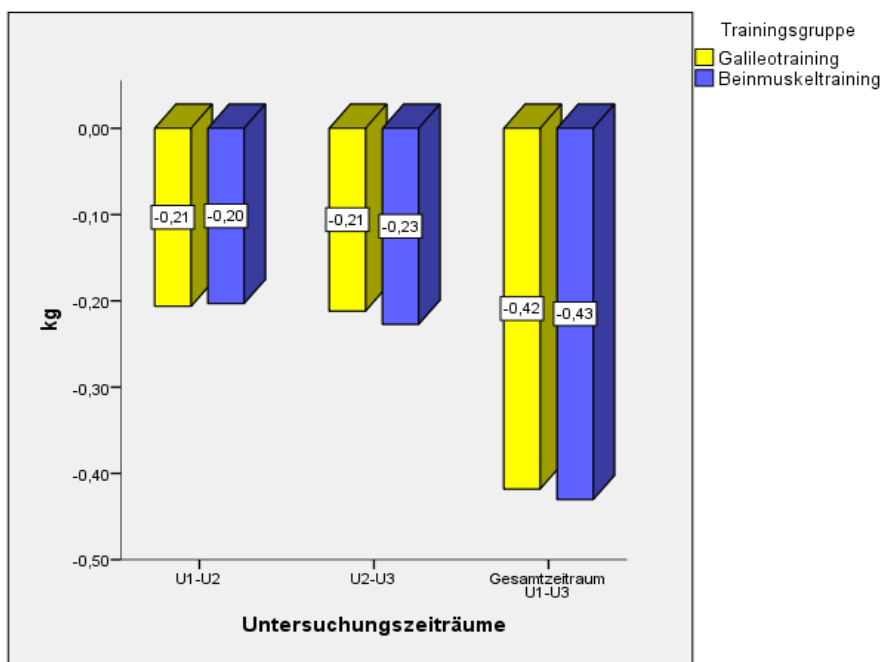
Untersuchungszeitraum	Gruppen		p-Werte <sup>°</sup>
	Beinmuskel	Galileo	
	Mittelwertdifferenzen in kg $\pm$ SD*	Mittelwertdifferenzen in kg $\pm$ SD*	
U1-U2	0,203 $\pm$ 0,582	0,206 $\pm$ 0,794	0,641
U2-U3	0,227 $\pm$ 0,769	0,212 $\pm$ 0,819	0,637
U1-U3	0,430 $\pm$ 0,901	0,418 $\pm$ 1,120	0,631

\*Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung, <sup>°</sup> p-Werte des unverbundenen t-Tests

Aus Abb. 11 kann die Abnahme der Mittelwertdifferenzen des Fettgewebes in beiden Gruppen abgelesen werden. Im Untersuchungszeitraum U1 zu U2 erfolgte in der Beinmuskelgruppe eine gemittelte Abnahme des Fettgewebes um 0,21 kg. In der Galileogruppe lässt sich in diesem Zeitraum eine ähnliche Abnahme von 0,20 kg finden. In der zweiten Trainingshälfte von sechs Wochen der Beinmuskelgruppe erfolgte eine weitere Abnahme des Fettgewebes um 0,2 kg. In der Galileogruppe stellte sich während der sechs Wochen trainingsfreien Zeit im Untersuchungszeitraum U2 zu U3 eine weitere Abnahme des Fettgewebes um 0,2 kg ein.

Insgesamt erfolgte in der Studienzeit von zwölf Wochen in der Beinmuskelgruppe eine gemittelte Abnahme des Fettgewebes von 0,42 kg. Es handelt sich hierbei um eine ähnliche Abnahme des Fettgewebes im Vergleich zur Galileogruppe mit einer Gesamtabnahme des Fettgewebes um 0,48 kg.

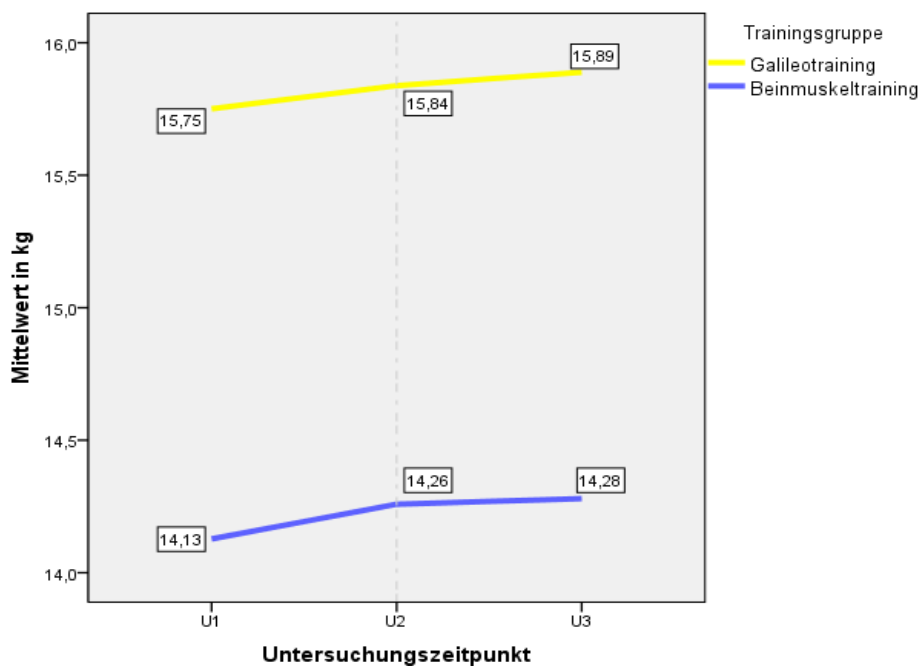
**Abb. 11 Vergleich der Mittelwertdifferenzen des Fettgewebes in kg zu den drei Untersuchungszeiträumen in den beiden Gruppen**



Das Magergewebe in den Beinen

Aus Abb. 12 können die Veränderungen der Magermasse der DXA-Untersuchungen drei entnommen werden. In Tab. 21 sind die zu den Mittelwerten zugehörigen Standardabweichungen sowie die entsprechenden Mediane mit dem 1. und 3. Quartil dargestellt. Die Galileo-Gruppe zeigt eine nicht signifikante höhere Baseline ( $p = 0,066$ ) von ca. 1,6 kg, wie es auch schon bei den Daten der Fettveränderung beobachtet wurde.

**Abb. 12 Magergewebemittelwerte in kg zu den drei Untersuchungszeiträumen in beiden Gruppen**



**Tab. 21 Magergewebsmasse der Beine in kg zu den entsprechenden Untersuchungszeitpunkten unter Angabe der Mittelwerte, der Standardabweichungen, der Mediane und Quartile**

Gruppe	N	1. Untersuchung (U1)				2. Untersuchung (U2)				3. Untersuchung (U3)			
		MW±SD*	Median	Qu	Qo	MW±SD*	Median	Qu	Qo	MW±SD*	Median	Qu	Qo
Beinmuskel	17	14,13 ± 2,32	13,87	11,88	15,83	14,26 ± 2,38	13,86	12,01	16,11	14,28 ± 2,51	14,61	12,00	15,85
Galileo	21	15,75 ± 2,84	15,58	13,64	17,49	15,84 ± 2,86	15,78	13,70	17,52	15,89 ± 2,74	16,45	13,62	17,27

\*Mittelwert ± Standardabweichung

Zur Untersuchung der Änderung der Magergewebsmassen zu den drei Untersuchungszeiträumen innerhalb jeder einzelnen Gruppe wurde der t-Test angewendet (vgl. Tab. 22). Weder in der Beinmuskelgruppe noch in der Galileogruppe konnten dabei signifikante Veränderungen ( $p > 0,05$ ) festgestellt werden.

**Tab. 22 Verbundene t-Test zu den Veränderungen des Fettgewebes innerhalb jeder einzelnen Gruppe zu den drei entsprechenden Untersuchungszeiträumen**

Untersuchungszeitraum	Gruppen			
	Beinmuskel		Galileo	
	Mittelwertdifferenzen in kg ±SD*	p-Werte°	Mittelwertdifferenzen in kg ±SD*	p-Werte°
U1-U2	0,131 ± 0,335	0,126	0,087 ± 0,517	0,447
U2-U3	0,021 ± 0,488	0,862	0,051 ± 0,812	0,777
U1-U3	0,152 ± 0,455	0,187	0,138 ± 0,912	0,495

\*Mittelwerte ± Standardabweichung, ° p-Werte des verbundenen t-Tests

Unter der Anwendung des unverbundenen t-Tests (vgl. Tab. 23) erfolgte die Untersuchung auf signifikante Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Hierbei wird eine tendenzielle Veränderung, jedoch noch kein signifikanter Unterschied, deutlich, mit  $p = 0,066$  im Untersuchungszeitraum U1 zu U2,  $p = 0,077$  im Untersuchungszeitraum U2 zu U3 und  $p = 0,070$  bei der Gesamtbetrachtung des Trainingszeitraumes von U1 zu U3.

**Tab. 23 Unverbundene t-Tests zur Berechnung der Mittelwertdifferenzen der Magergewebsveränderung zwischen den Untersuchungszeiträumen der zwei Gruppen**

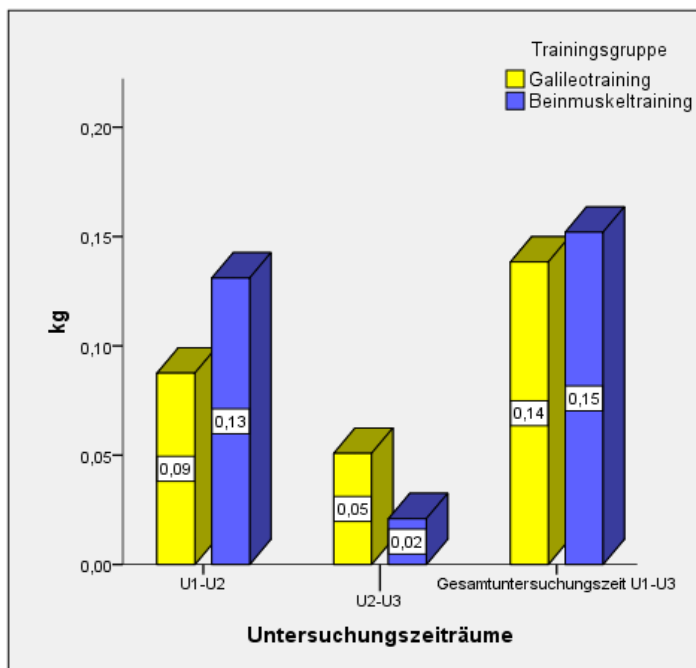
Untersuchungszeitraum	Gruppen		p-Werte°
	Beinmuskel	Galileo	
	Mittelwertdifferenzen in kg ±SD*	Mittelwertdifferenzen in kg ±SD*	
U1-U2	0,131 ± 0,335	0,087 ± 0,517	0,066
U2-U3	0,021 ± 0,488	0,051 ± 0,812	0,077
U1-U3	0,152 ± 0,455	0,138 ± 0,912	0,070

\*Mittelwerte ± Standardabweichung, ° p-Werte des unverbundenen t-Tests

Der Abb. 13 können die Veränderungen der Mittelwerte der DXA-Magergewebsmessung der beiden Gruppen entnommen werden. Innerhalb der ersten Trainingseinheit von sechs Wochen, im Untersuchungszeitraum U1 zu U2, nahm das Magergewebe in der Beinmuskelgruppe um 0,13 kg zu. In der Galileogruppe zeigte sich eine Zunahme von 0,09 kg.

In der zweiten sechswöchigen Trainingsphase erfolgte in der Beinmuskelgruppe eine weitere gemittelte Zunahme des Magergewebes der Beine um 0,02 kg, wohingegen in der Galileogruppe in der trainingsfreien Zeit eine Zunahme von 0,05 kg des Magergewebes zu verzeichnen war. Bezogen auf die gesamte Trainingszeit von zwölf Wochen erfolgte vom Untersuchungszeitpunkt U1 zum Untersuchungszeitpunkt U3 in beiden Gruppen ein ähnlicher gemittelter Anstieg des Magergewebes um 0,14 kg in der Galileogruppe und um 0,15 kg in der Beinmuskelgruppe.

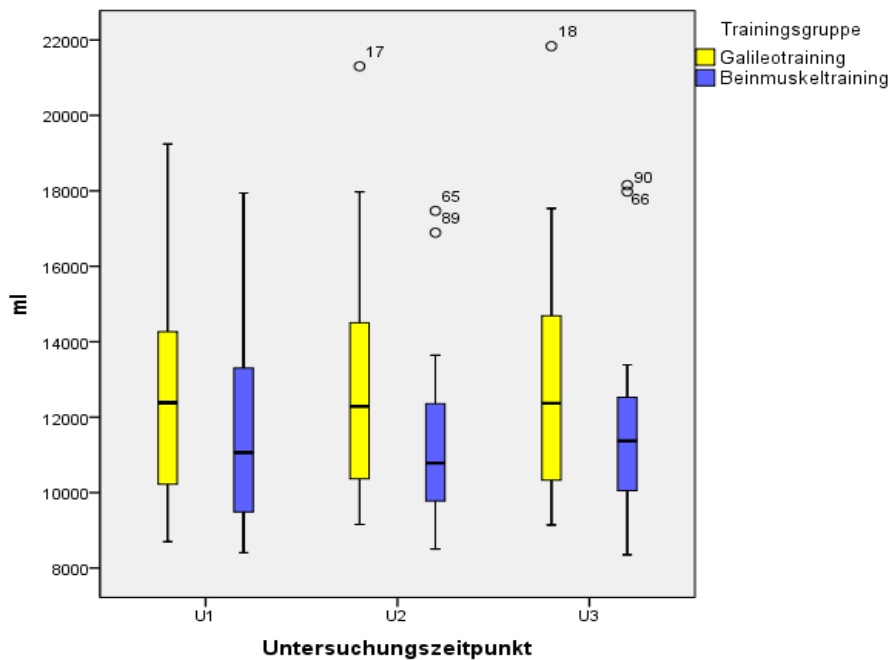
**Abb. 13** Veränderung der Mittelwerte in kg der DXA-Magergewebsmessung zu den drei Untersuchungszeiträumen in beiden Gruppen



#### 5.1.4 Perometermessung

Die Auswertung der Perometerdaten erfolgte mit Hilfe des berechneten arithmetischen Mittels des linken und des rechten Beines. Der Boxplot der Abb. 14 zeigt die Verteilung der Messdaten in der Galileogruppe und der Beinmuskelgruppe zu den drei Untersuchungszeitpunkten. Auffällig ist die breitere Streuung der Volumenmessdaten der Galileogruppe zu U2 und U3. Zum Untersuchungszeitpunkt U1 besitzt die Galileogruppe eine um 1,3 Liter höhere Baseline als die Beinmuskelgruppe ( $p = 0,271$ ).

Abb. 14 Perometermessung der Beine beider Trainingsgruppen in ml zu den drei Untersuchungszeitpunkten



Tab. 24 zeigt eine Übersicht der Mediane des 1. und 3. Quartils und der Mittelwerte der Volumenmessung der Beine in ml zu den drei Untersuchungszeiträumen sowie die Ergebnisse des Friedman-Tests.

Tab. 24 Friedman-Test zur Volumenmessung der Beine der beiden Trainingsgruppen in ml

Gruppe	N	Untersuchung U1				Untersuchung U2				Untersuchung U3				Friedman-Test p
		Median	Qu	Qo	Mw±SD*	Median	Qu	Qo	Mw±SD*	Median	Qu	Qo	Mw±SD*	
Bein-muskel	17	11059,0	9437,5	13347,0	11596,7 ± 2782,0	10783,5	9756,8	12979,3	11736,8 ± 2498,7	11370,5	10004,3	12733,3	11906,6 ± 2641,0	0,113
Galileo	21	12384,0	10048,3	14721,3	12572,9 ± 3005,4	12285,0	10323,0	15198,5	12981,6 ± 3296,8	12371,0	10207,0	15429,5	13108,2 ± 3254,9	<0,0005

\*Mittelwert ± Standardabweichung

Bei der Analyse der Veränderungen des Beinvolumens in den zwei einzelnen Gruppen zu den entsprechenden drei Untersuchungszeiträumen konnte unter Verwendung des Friedman-Tests eine signifikante Zunahme des Volumens der Beine in der Galileo-Gruppe belegt werden ( $p < 0,0005$ ), wogegen sich in der Beinmuskel-Gruppe keine signifikante Zunahme des Beinvolumens zeigte ( $p = 0,113$ ).

Die Berechnung der Differenzen der Mediane der Volumenänderung zwischen den Untersuchungszeiträumen U1 zu U2 sowie U2 zu U3 und U1 zu U3 der zwei Gruppen erfolgte mit Hilfe des Mann und Whitney-Tests (U-Test) und zeigte keine signifikanten Veränderungen (siehe Tab. 25).

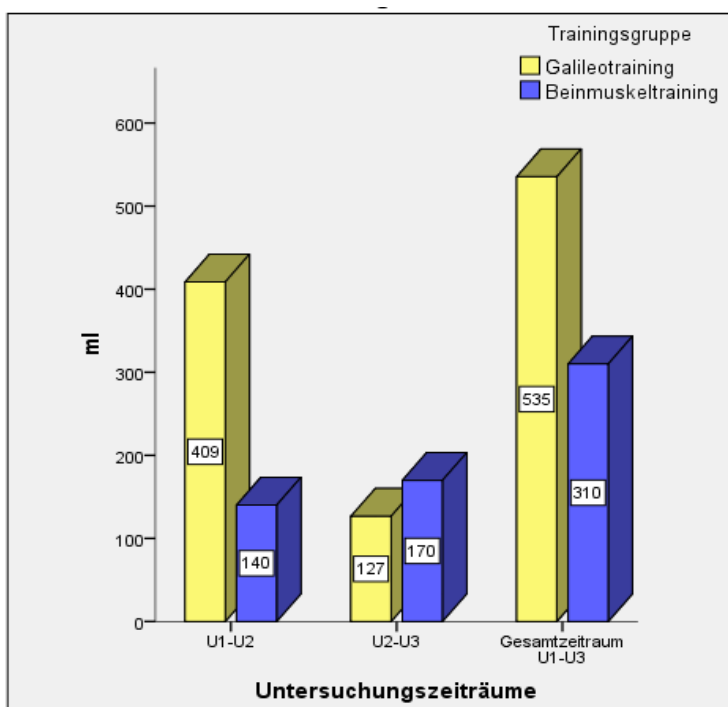
**Tab. 25 U-Test zur Berechnung der Differenzen der Mediane der Volumenänderung der beiden Gruppen zu den entsprechenden Untersuchungszeiträumen**

Gruppe	N	U-Test								
		U1-U2			U2-U3			U1-U3		
		Mediane*	Qu	Qo	Mediane*	Qu	Qo	Mediane*	Qu	Qo
Beinmuskel	17	-210,5	-676,0	182,8	-114,5	-578,3	356,0	-340,5	-812,5	25,3
Galileo	21	-265,0	-610,5	-104,3	-115,0	-418,3	158,8	-476,5	-677,3	-371,0
	p-Wert	0,403			0,758			0,419		

\*Differenzen der Mediane der entsprechenden Untersuchungszeiträume der Perometermessung in ml

Vom Untersuchungszeitpunkt U1 zu U2 konnte in der Beinmuskelgruppe eine Zunahme des Volumens der Beine von 140 ml beobachtet werden, wogegen sich in der Galileo-Gruppe eine Zunahme von 409 ml aufzeigte (vgl. Abb. 15). Vom Untersuchungszeitpunkt U2 zu U3 konnte eine weitere Zunahme des Volumens in den Beinen in beiden Gruppen verzeichnet werden. Es erfolgte eine weitere Zunahme des Volumens in der Beinmuskel-Gruppe um 170 ml. In der Galileo-Gruppe zeigte sich ein Anstieg um weitere 127 ml. In der gesamten Studienzeit von zwölf Wochen konnten damit in der Beinmuskel-Gruppe eine Gesamtzunahme des Volumens um 310 ml verzeichnet werden. Im Vergleich dazu zeigte sich in der Galileo-Gruppe eine um 125 ml höhere Volumenzunahme von insgesamt 535 ml.

**Abb. 15 Gegenüberstellung der Änderung der Perometermessung in ml in beiden Gruppen zu den drei Beobachtungszeiträumen**

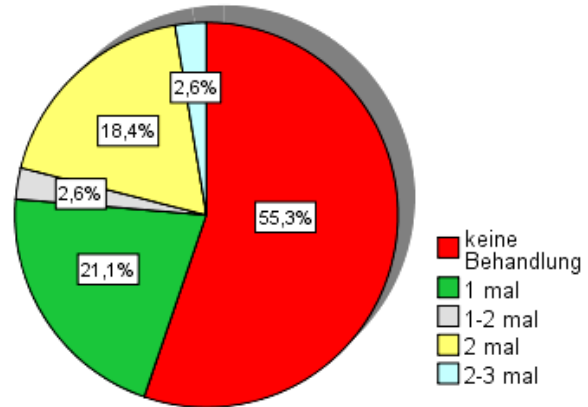


## 5.2 Fragebogenauswertung

### 5.2.1 Lymphdrainage

Regelmäßige Lymphdrainageanwendungen sind vor allem für Patienten mit einem bereits zusätzlich zum Lipödem ausgeprägten Lymphödem wichtig. Die Häufigkeit und die Dauer der Lymphdrainagebehandlungen der Probanden wurde zum Untersuchungszeitpunkt U2 erfragt und kann hierbei Hinweise auf den Ausprägungsgrad der Lipödemerkrankung geben. Aus Abb. 16 ist ersichtlich, dass ca. 45 % der Teilnehmer während der Studie eine regelmäßige Lymphdrainagebehandlung erhielten. Die Behandlungsdauer lag hierbei zwischen 45 und 60 min pro Therapieeinheit.

Abb. 16 Häufigkeit der Lymphdrainagebehandlung pro Woche

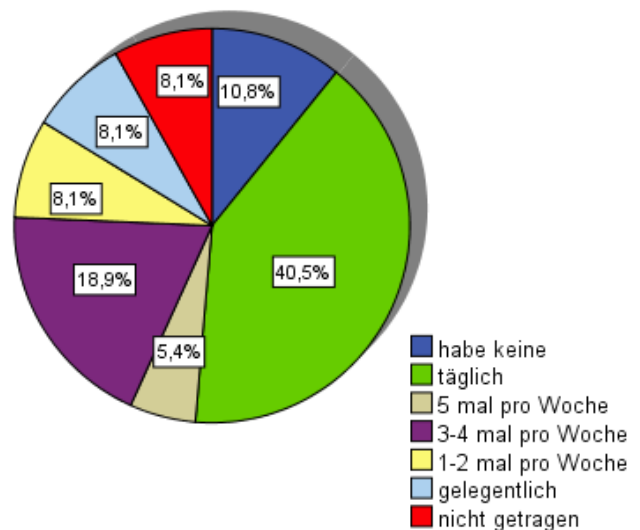


### 5.2.2 Kompressionsstrümpfe

#### Tragehäufigkeit

Neben der Erfassung der Lymphdrainagebehandlung während der Studie erfolgte auch die Befragung zum Tragen der Kompressionsstrümpfe (vgl. Abb. 17). Das Tragen der Kompressionsstrümpfe nimmt Einfluss auf das Beinvolumen und den Grad der Schwellung der Beine. Aus der Befragung geht hervor, dass 41 % der Probanden ihre Kompressionsstrümpfe täglich tragen, 19 % tragen die Strümpfe 3-4 Mal pro Woche, 8 % tragen die Kompressionsstrümpfe gar nicht und 11% gaben an keine zu besitzen.

Abb. 17 Die Tragehäufigkeit der Kompressionsstrümpfe während unserer Studienzeit

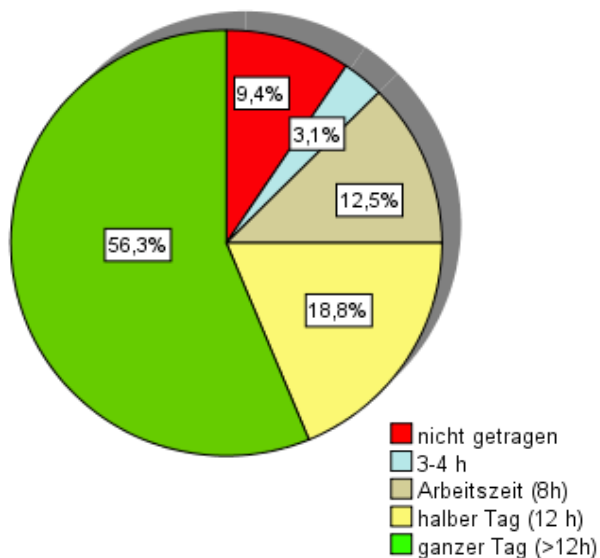


Tragedauer

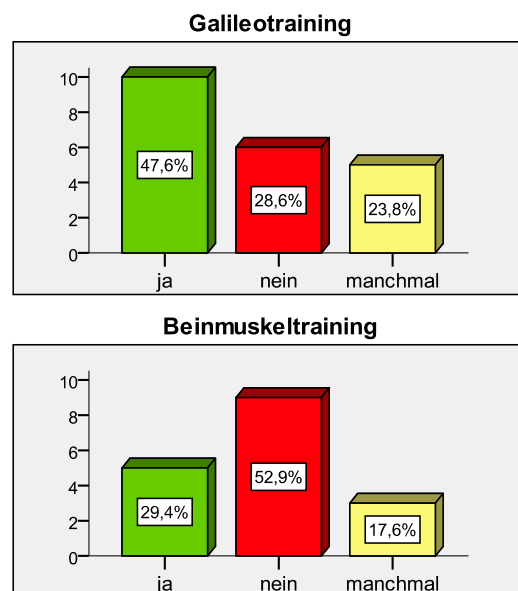
Bei 56 % der 38 Probanden liegt die Tragedauer der Kompressionsstrümpfe bei > 12 Stunden pro Tag (siehe Abb. 18). 19 % gaben an, die Strümpfe den halben Tag (12h) zu tragen und 13 % tragen sie während der Arbeitszeit (8h).

Bei der Befragung des Tragens der Kompressionsstrümpfe zum Training (vgl. Abb. 19) fällt im Vergleich der beiden Trainingsgruppen auf, dass in der Galileo-Gruppe 48 % der Probanden ihre Kompressionsstrümpfe trugen, wohingegen in der Beinmuskel-Gruppe nur 29 % die Frage bejahten. 18% der Beinmuskel-Gruppe und 24% der Galileo-Gruppe gaben weiterhin an, die Strümpfe manchmal während des Trainings zu tragen.

**Abb. 18 Durchschnittliche Tragedauer der Kompressionsstrümpfe**



**Abb. 19 Tragen der Kompressionsstrümpfe zum Training**



**5.2.3 Familiäre Häufung des Lipödems**

Eine Befragungen der Studienteilnehmer zum bekannten familiären Auftreten des Lipödems zeigte, dass bei über 68% der Patienten ein Lipödem der Beine in der Familie zu finden ist (siehe Abb. 20).

Abb. 21 zeigt die Verteilung der Lipödemerkrankung in den Beinen innerhalb der Familien der Studienteilnehmer. Daraus geht hervor, dass bei 21,6 % der Probanden die Mutter von der Erkrankung betroffen ist. Bei 27,5 % ist die Erkrankung auch bei der Großmutter zu finden, wobei hierbei in 53,3 % der Fälle die Großmutter mütterlicherseits betroffen ist. 21,6 % der Teilnehmer der Studie berichteten von der Erkrankung ihrer Tante, davon 54,6 % mütterlicherseits.



Abb. 20 Bekanntes familiäres Auftreten des Lipödems in der Familie

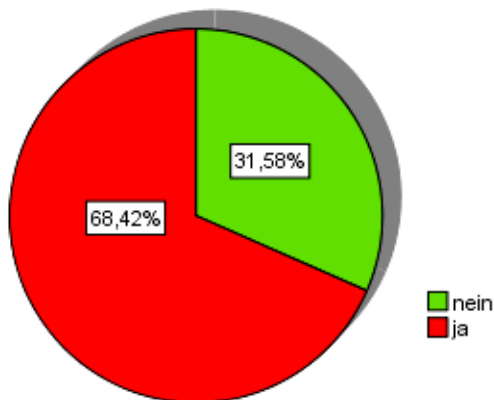
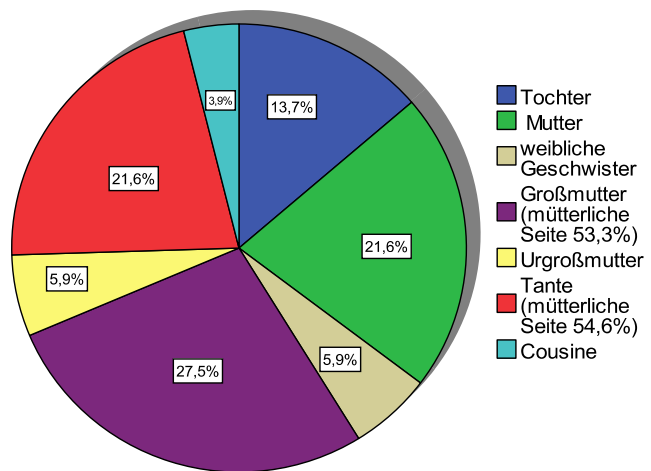


Abb. 21 Familiäre Häufung des Lipödems in den Beinen der Familienmitglieder der Studienteilnehmer



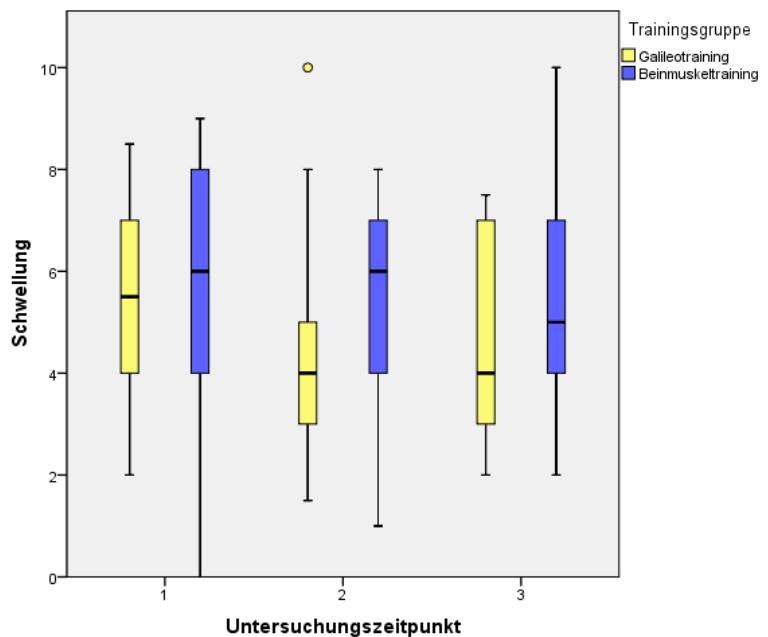
### 5.2.4 Subjektive Einschätzung der Schmerzen, Schwellung, Hämatomneigung und Mobilität

Mit Hilfe der NRS-Fragebogenform zur Schmerzeinschätzung wurden die subjektiven Bewertungen der Schwellung, der Schmerzen, der Hämatomneigung in den Beinen und das Mobilitätsgefühl auf einer Skala von 0-10 zu den drei Untersuchungszeitpunkten bewertet.

#### Schwellung

In der nebenstehenden Darstellung der Boxplots (Abb. 22) zur Änderung der Schwellung in den Beinen fällt auf, dass der Median in der Galileo-Gruppe vom Untersuchungszeitpunkt U1 zu U2 von 5,5 auf 4,0 gesenkt werden konnte und dass in der Beinmuskel-Gruppe sich vom Untersuchungszeitpunkt U2 zu U3 eine Senkung des Medians von 6,0 auf 5,0 einstellte.

Abb. 22 Subjektive Beurteilung der derzeitigen Schwellung zu den drei Untersuchungszeitpunkten



Trotzdem zeigte sich weder im Friedman-Test (zum Vergleich innerhalb der einzelnen Gruppen) noch im U-Test (zum Vergleich zwischen den beiden Trainingsgruppen) eine signifikante Änderung bei der Äußerung zur „derzeitigen Schwellung der Beine“ (vgl. Tab. 26).

**Tab. 26 Friedman-Test und U-Test zur subjektiven Beschreibung der derzeitigen Schwellung der Beine**

Gruppe	N	Untersuchung U1				Untersuchung U2				Untersuchung U3				Friedman Test
		Median	Qu	Qo	Mw±SD*	Median	Qu	Qo	Mw±SD*	Median	Qu	Qo	Mw±SD*	p
Beinmuskel	17	6,0	3,5	8,0	5,8 ± 2,7	6,0	3,8	7,0	5,5 ± 2,0	5,0	4,0	7,0	5,5 ± 2,1	0,438
Galileo	21	5,5	3,8	7,0	5,3 ± 2,0	4,0	3,0	6,0	4,5 ± 2,2	4,0	3,0	7,0	4,5 ± 1,9	0,191
<b>U-Test</b>	<b>p-Wert</b>	0,338				0,127				0,201				

(\*Mittelwert ± Standardabweichung)

Auf die Befragung, unter welchen Bedingungen die Schwellung der Beine am stärksten sei, mit der Option zur Mehrfachantwortmöglichkeit, schätzten 31 der 38 Probanden, die bis zum Ende an der Studie teilnahmen, die Schwellung am Abend und 30 Probanden die Schwellung unter warmen Temperatureinflüssen als am stärksten ein. 21 Probanden empfanden die stärkste Schwellung der Beine im Sitzen und 16 Probanden im Stehen. Sechs Probanden klagten über eine maximale Schwellung in Ruhe, wogegen die Schwellung der Beine in Bewegung und am Morgen von je zwei Probanden als am stärksten angesehen wurde.

Mit Hilfe der Korrelationsanalyse nach Pearson erfolgte die Untersuchung des linearen Zusammenhanges zwischen den Daten der Perometermessung und der subjektiven Einschätzung des Volumens der Beine zu den einzelnen Untersuchungszeitpunkten. Aus der folgenden Tab. 27 ist ersichtlich, dass das Bestimmungsmaß  $r^2$  für U1 mit 0,20 am größten ist. Daraus ergibt sich, dass zu den drei Untersuchungszeitpunkten weniger als 20 % der Variable der subjektiven Einschätzung des Volumens der Beine durch die Unterschiede der Perometermessung erklärt werden können.

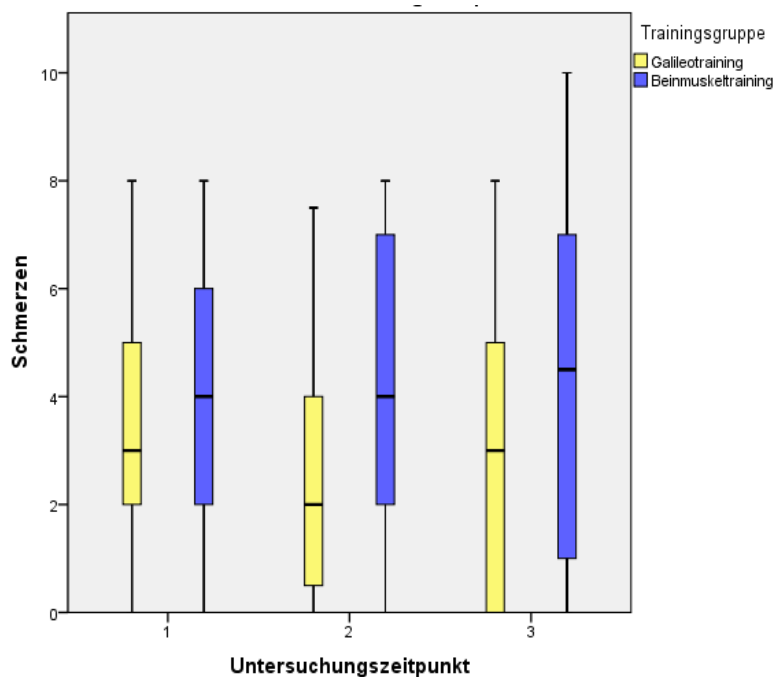
**Tab. 27 Pearson-Korrelation zwischen den Daten der Perometermessung und der subjektiven Einschätzung des Volumens der Beine der Probanden**

	$r^2$	p-Wert
U1	0,20	0,005
U2	0,11	0,047
U3	0,03	0,283

Schmerzen

Aus Abbildung 23 ist ersichtlich, dass die Baseline sich in den beiden Gruppen unterscheidet. In der Galileogruppe erfolgte eine Senkung der subjektiven Schmerzempfindung in den Beinen vom Untersuchungszeitpunkt U1 zu U2 um 1,0 Punkte, welche nach Beendigung des Trainings in der zweiten Hälfte zum Untersuchungszeitpunkt U3 auf den Ausgangswert von 3,0 wieder anstieg. Mit der Durchführung der parametrischen Tests, dem Friedman-Test und dem U-Test (vgl. Tab. 28) konnte jedoch keine signifikante Senkung der Schmerzen belegt werden.

**Abb. 23 Subjektive Beurteilung der Schmerzen in beiden Trainingsgruppen zu den drei Untersuchungszeitpunkten**



**Tab. 28 Friedman-Test zur subjektive Beschreibung der derzeitigen Schmerzen in den Beinen zu den entsprechenden Untersuchungszeitpunkten in beiden Gruppen**

Gruppe	N	Untersuchung U1				Untersuchung U2				Untersuchung U3				Friedman-Test p-Wert
		Median	Qu	Qo	Mw±SD*	Median	Qu	Qo	Mw±SD*	Median	Qu	Qo	Mw±SD*	
Beinmuskelt	17	4,0	1,5	6,5	3,9 ± 2,8	4,0	1,0	7,5	4,0 ± 3,1	4,5	1,0	7,0	4,4 ± 3,2	0,813
Galileo	21	3,0	1,5	5,0	3,4 ± 2,4	2,0	0,0	4,0	2,4 ± 2,3	3,0	0,0	5,5	3,1 ± 2,9	0,141
<b>U-Test</b>	<b>p-Wert</b>	0,626				0,126				0,182				

(\*Mittelwert ± Standardabweichung)

Die aus dem Fragebogen zur Lokalisation der bestehenden Schmerzen in den Beinen und im Rücken (Mehrfachantwortmöglichkeit) erhobenen Daten für die beiden Trainingsgruppen (Galileogruppe 21 und Beinmuskeltgruppe 17 Probanden) zu den drei Untersuchungszeitpunkten können der nachfolgenden Abb. 24 entnommen werden.

**Abb. 24 Lokalisation der bestehenden Schmerzen in den Beinen und im Rücken (Mehrfachantwortmöglichkeit) zu den drei Untersuchungszeitpunkten in beiden Gruppen**



Unter Anwendung des Friedman-Tests (vgl. Tab. 29) wurden die einzelnen Veränderungen der subjektiven Schmerzwahrnehmung in den Beinen und im Rücken in den beiden Gruppen getrennt untersucht.

**Tab. 29 Friedman-Test und U-Test zur Veränderung der subjektiven Schmerzwahrnehmung in den Beinen und im Rücken in den beiden Gruppen**

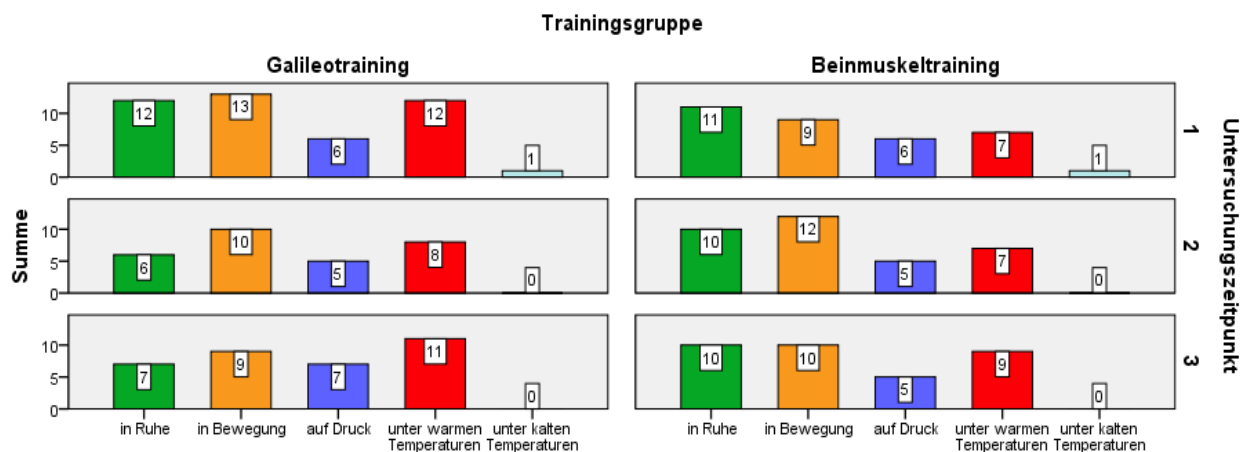
Gruppe	Friedman-Test					
	Zehen	Füße	Unterschenkel	Knie	Oberschenkel	Rücken
	p-Werte					
Beinmuskel	0,819	0,549	0,513	0,549	0,368	0,156
Galileo	0,174	0,549	<b>0,013</b>	<b>0,030</b>	0,513	0,197
U-Test	nicht signifikant ( $\alpha > 0,05$ )					

In der Galileogruppe konnte in der Zeit des sechswöchigen Trainings eine signifikante Schmerzabnahme in den Unterschenkeln ( $p = 0,013$ ) verzeichnet werden. Zwölf Probanden klagten über Schmerzen in den Unterschenkeln zum Studienbeginn, wogegen nach dem Training zum Untersuchungszeitpunkt U2 nur vier Probanden über Schmerzen in den Unterschenkeln berichteten. Weiterhin ist in der Galileogruppe eine signifikante Schmerzzunahme in den Knien ( $p = 0,030$ ) zu verzeichnen. Acht Probanden der Galileogruppe klagten über Schmerzen in den Knien vor Studienbeginn. Nach der Trainingsdurchführung klagten weitere vier Probanden über Knieschmerzen. In der Beinmuskelgruppe zeigten sich im Vergleich zur Galileogruppe keine signifikanten Änderungen. Bei der Beinmuskelgruppe findet sich jedoch eine abnehmende Nennungen der Schmerzen von je zwei Probanden in den Unterschenkeln, Knien und Oberschenkeln nach den ersten sechs Wochen Training. In der zweiten Hälfte trat eine weitere Abnahme der Schmerzen von drei Probanden im Rücken hinzu.

In den anderen Bereichen der Beine zeigten sich nur minimale Änderungen. Der erfolgte Gruppenvergleich mit Hilfe des U-Tests zeigte dabei keine signifikanten Änderungen (siehe Tab. 29).

Zu der Befragung „wann“ (d.h. unter welchen Umständen) die Lipödempatienten unter Schmerzen in ihren Beinen leiden, konnte bei der Auswertung mittels nicht-parametrischer Tests zu den drei Untersuchungszeitpunkten weder in der Galileogruppe noch in der Beinmuskelgruppe noch im Vergleich der beiden Gruppen untereinander eine signifikante Abnahme der Schmerzen festgestellt werden. Abb. 25 zeigt die Verteilung der Antworten beider Gruppen zu den drei Untersuchungszeitpunkten.

**Abb. 25 Befragung zur subjektiven Einschätzung, unter welchen Umständen die Teilnehmer beider Gruppen im Laufe des Tages unter Schmerzen in den Beinen leiden (Mehrfachantwortmöglichkeit)**

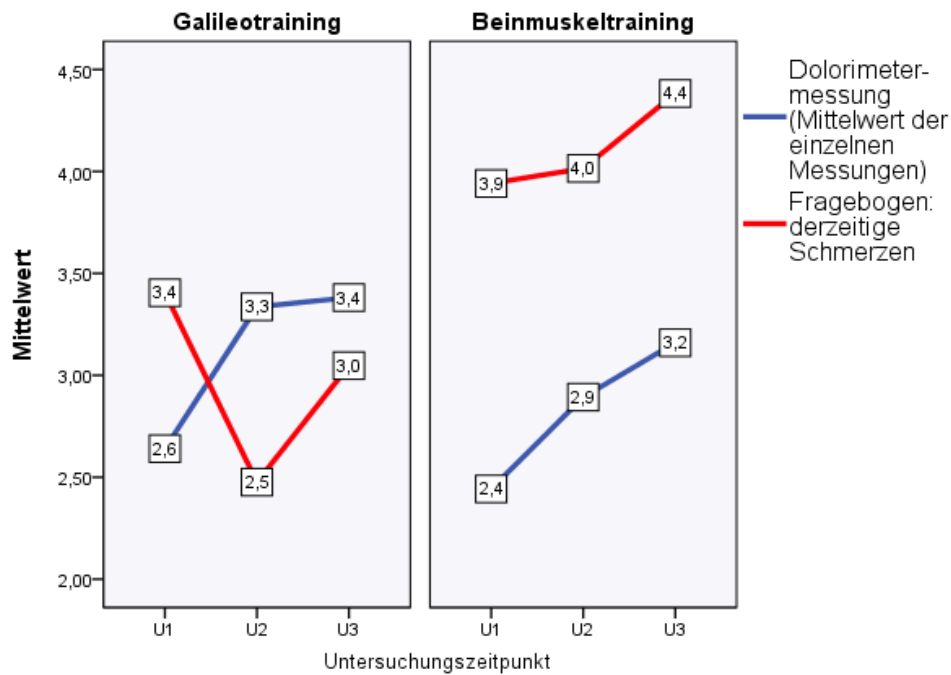


In der Galileogruppe zeigte sich, dass nach dem sechswöchigen Training nur noch sechs der anfänglichen zwölf Probanden unter fortführenden Schmerzen in Ruhe litten. Weiterhin sanken zum Untersuchungszeitpunkt U2 die Äußerungen über Schmerzen unter warmen Temperatureinflüssen von ursprünglich zwölf auf acht Probanden. Eine ähnliche Änderung zeigte sich bei der Äußerung zu den Bewegungsschmerzen mit einer Abnahme von 13 auf zehn Probanden. In der Beinmuskelgruppe ist eine Zunahme der Schmerzen bei Bewegung von neun auf zwölf Probanden vom Untersuchungszeitpunkt U1 zu U2 ersichtlich. Zusätzlich konnte unter dem Beinmuskeltraining weder eine Veränderung in Ruhe noch unter Druck oder Temperatureinflüssen festgestellt werden.

Abb. 26 zeigt getrennt für die beiden Gruppen zu den drei Untersuchungszeitpunkten, die gemittelte empfundene Schmerzempfindung mit Hilfe der NRS in der Gegenüberstellung zu den gemessenen Werten der Dolorimetermessung.

Es ist zu erkennen, dass in der Beinmuskelgruppe die beiden Variablen parallel zu einander verlaufen, wohingegen in der Galileo-Gruppe vor allem zum U1 die subjektive Schmerzeinschätzung und die Dolorimetermessung sich entgegengesetzt zu den beiden anderen Untersuchungszeiträumen verhalten.

**Abb. 26** Darstellung der gemittelten subjektiven Schmerzeinschätzung mit Hilfe der NRS in der Gegenüberstellung zu den gemessenen Werten der Dolorimetermessung beider Gruppen, getrennt nach den drei Untersuchungszeitpunkten



Die Überprüfung der linearen Korrelation der objektiven Druckschmerzschwellenmessung der Beine mittels Dolorimeter und der subjektiven Einschätzung der vorhandenen Schmerzen in den Beinen mittels des NRS Fragebogens erfolgte mit dem Korrelationstest nach Pearson. Aus Tab. 30 kann das Bestimmtheitsmaß  $r^2$  der drei Untersuchungszeitpunkte für beide Gruppen entnommen werden. Weder in der Galileo-Gruppe noch in der Beinmuskel-Gruppe zeigte sich eine gute lineare Korrelation. Lediglich zum U2 ist eine geringgradige Korrelation zu finden. Das Bestimmtheitsmaß  $r^2$  von 0,305 für die Galileo-Gruppe und 0,192 für die Beinmuskel-Gruppe besagt, dass zu 31 % bzw. zu 19 % die Varianz der subjektiven Schmerzeinschätzung durch die Varianz der Dolorimetermessung erklärt werden kann.

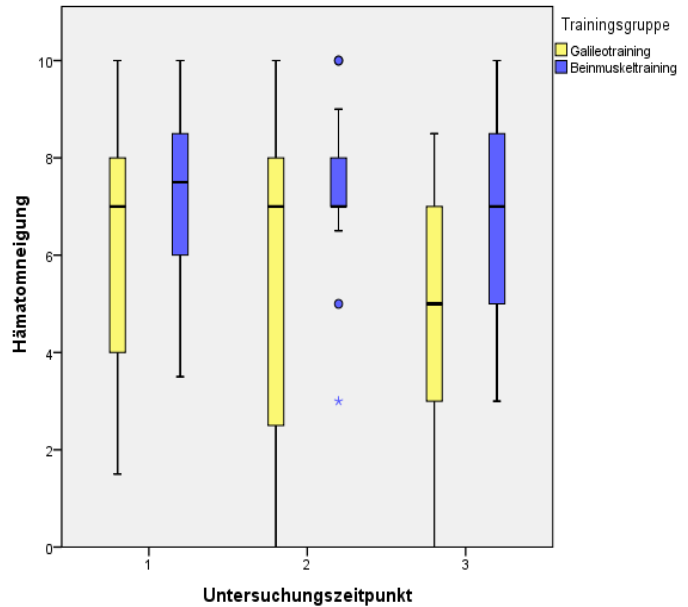
**Tab. 30** Pearson-Korrelation zwischen der Dolorimetermessung und der subjektiven Schmerzeinschätzung mit Hilfe der NRS (numeric rating scale)

	Galileo-Gruppe		Beinmuskel-Gruppe	
	$r^2$	p-Wert	$r^2$	p-Wert
U1	0,000	0,969	0,011	0,649
U2	0,305	0,022	0,192	0,047
U3	0,093	0,235	0,034	0,421

Hämatomneigung

In der nebenstehenden Abb. 27 ist auffällig, dass sich in der Galileogruppe eine Senkung der Hämatomneigung, bezogen auf den Median zum Untersuchungszeitpunkt U3, einstellt. Unter Anwendung des nicht-parametrischen Tests, dem Friedman-Test (vgl. Tab. 31), wird eine signifikante Änderung der Hämatomneigung in der Galileogruppe deutlich ( $p < 0,0005$ ). Der Median der Galileogruppe fällt von sieben auf der NRS zum Untersuchungszeitpunkt U1 und U2 auf fünf der NRS zum Untersuchungszeitpunkt U3. In der Beinmuskulgruppe zeigte sich keine signifikante Veränderung. Unter Anwendung des U-Tests (siehe Tab. 31) konnte ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der beiden Trainingsgruppen zum Untersuchungszeitpunkt U3 festgestellt werden ( $p = 0,034$ ).

**Abb. 27** Subjektive Beurteilung der derzeitigen Hämatomneigung in den beiden Trainingsgruppen zu den drei Untersuchungszeitpunkten



**Tab. 31** Subjektive Beschreibung der derzeitigen Hämatombildung in den Beinen zu den entsprechenden Untersuchungszeitpunkten

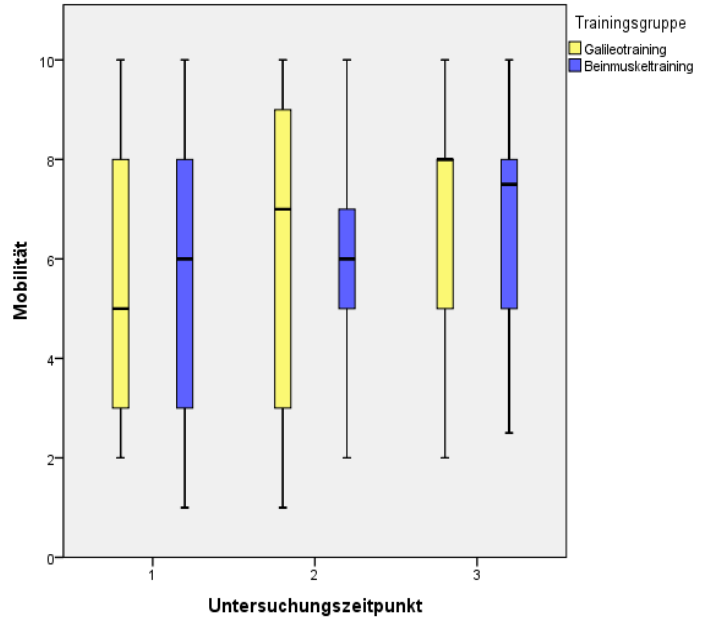
Gruppe	N	Untersuchung U1				Untersuchung U2				Untersuchung U3				Friedman-Test p
		Median	Qu	Qo	Mw±SD*	Median	Qu	Qo	Mw±SD*	Median	Qu	Qo	Mw±SD*	
Beinmuskul	17	7,5	5,5	8,8	7,3 ± 2,0	7,0	6,8	8,0	7,3 ± 1,7	7,0	4,5	8,8	6,8 ± 2,2	0,731
Galileo	21	7,0	3,8	8,8	6,4 ± 2,9	7,0	2,0	8,3	5,6 ± 3,4	5,0	3,0	7,0	4,7 ± 2,7	<0,0005
<b>U-Test</b>	<b>p-Wert</b>	0,416				0,373				<b>0,034</b>				

(\*Mittelwert ± Standardabweichung)

Mobilität

In Abb. 28 sind die Boxplots der beiden Trainingsgruppen zur subjektiven Beurteilung der Mobilität (bezogen auf die Laufstreckenlänge und Ausdauer) zu den drei Untersuchungszeitpunkten dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Galileo-Gruppe zum Untersuchungszeitpunkt U1 einen um einen Punkt niedrigeren Median aufweist als die Beinmuskel-Gruppe. Aus Tab. 32 geht hervor, dass in der Galileo-Gruppe der Median der Mobilität von fünf auf sieben zum Untersuchungszeitraum U2 gesteigert werden konnte. Jedoch reicht die Steigerung der Mobilität um zwei Punkte vom Untersuchungszeitpunkt U1 zu U2 und eine weitere Steigerung um einen Punkt auf acht der NRS mit maximalen zehn Punkten nicht aus, um nach dem Friedman-Test als signifikante Änderung eingestuft zu werden ( $p = 0,087$ ).

**Abb. 28** Subjektive Beurteilung der derzeitigen Mobilität in den beiden Trainingsgruppen zu den drei Untersuchungszeitpunkten



**Tab. 32** Subjektive Beschreibung der derzeitigen Mobilität (bezogen auf die Ausdauer und Laufleistung) zu den entsprechenden Untersuchungszeitpunkten

Gruppe	N	Untersuchung U1				Untersuchung U2				Untersuchung U3				Friedman-Test p
		Median	Qu	Qo	Mw±SD*	Median	Qu	Qo	Mw±SD*	Median	Qu	Qo	Mw±SD*	
Beinmuskel	17	6,0	3,0	8,0	5,3 ± 2,7	6,0	4,5	7,0	6,0 ± 2,2	7,5	5,0	8,0	6,6 ± 2,3	0,113
Galileo	21	5,0	3,0	8,0	5,6 ± 2,7	7,0	3,0	9,0	6,2 ± 3,0	8,0	5,0	8,3	6,8 ± 2,3	0,087
U-Test	p-Wert	0,745				0,595				0,571				

(\*Mittelwert ± Standardabweichung)

In der Beinmuskel-Gruppe wurde zum Ende des Untersuchungszeitpunktes U3 im Vergleich zum Untersuchungszeitpunkt U1 und U2 eine Steigerung von 1,5 Punkten auf der NRS verzeichnet. Diese Änderung kann nicht als eine signifikante Mobilitätssteigerung unter Anwendung des Friedman-Tests beurteilt werden (vgl. Tab. 32). Auch der Vergleich der Mobilitätsänderung zwischen den beiden Gruppen zu den drei Untersuchungszeitpunkten weist unter Verwendung des U-Tests keine signifikanten Unterschiede auf (siehe Tab. 32).

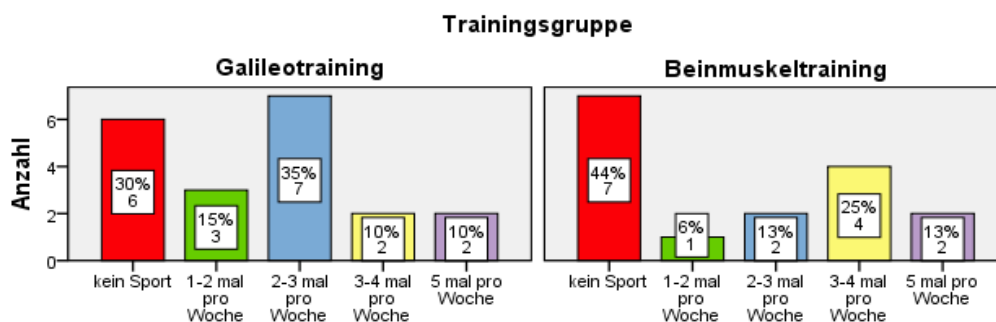
**5.2.5 Sportliche Aktivität**

Neben der Erfassung der Mobilität erfolgten auch Fragen zur sportlichen Aktivität der Probanden. Die Befragung zur regelmäßigen sportlichen Aktivität ergab, dass ca. 56 % der Teilnehmer der Beinmuskel-Gruppe sich regelmäßig sportlich betätigen.



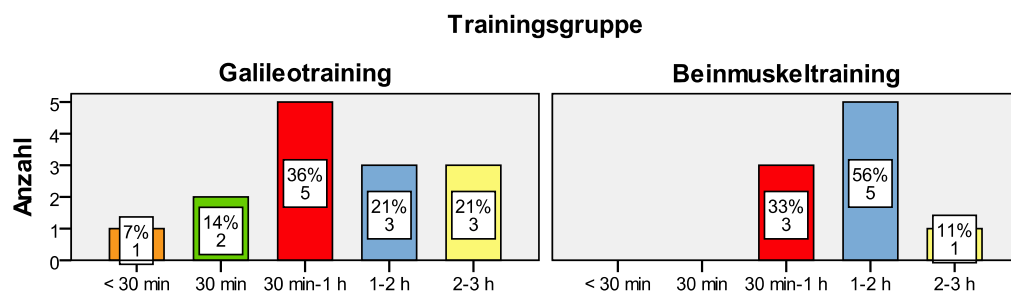
Demgegenüber treiben 70 % der Probanden der Galileogruppe regelmäßig Sport. Die Häufigkeit der sportlichen Aktivität ist Abb. 29 zu entnehmen. In der Galileogruppe ist auffällig, dass sich ca. 35 % 2-3 mal pro Woche regelmäßig sportlich betätigen. In der Beinmuskelgruppe treiben 44 % keinen regelmäßigen Sport, wobei sich ein Viertel dieser Gruppe 3-4 mal pro Woche regelmäßig bewegt.

**Abb. 29 Häufigkeit der regelmäßigen sportlichen Aktivität der Lipödempatienten zu Studienbeginn**



In der Galileogruppe lag bei 36 % die Dauer der sportlichen Aktivität bei 30-60 min. In der Beinmuskelgruppe betätigen sich ca. 56 % der Probanden für 60-120 min und 33 % für 30-60 min sportlich (Abb. 30). Zu den sportlichen Aktivitäten zählten vor allem Fahrrad fahren, regelmäßiges spazieren gehen und Nordic Walking. Weiterhin wurden folgende Aktivitäten genannt: Gymnastik, Wassergymnastik, Aerobic, Fitnessstudio, Yoga, Kraft- und Ausdauertraining, Tanzen und Joggen.

**Abb. 30 Trainingsdauer der sportlichen Aktivität der Lipödempatienten, bezogen auf die regelmäßigen Aktivitäten der Lipödempatienten zu Studienbeginn**



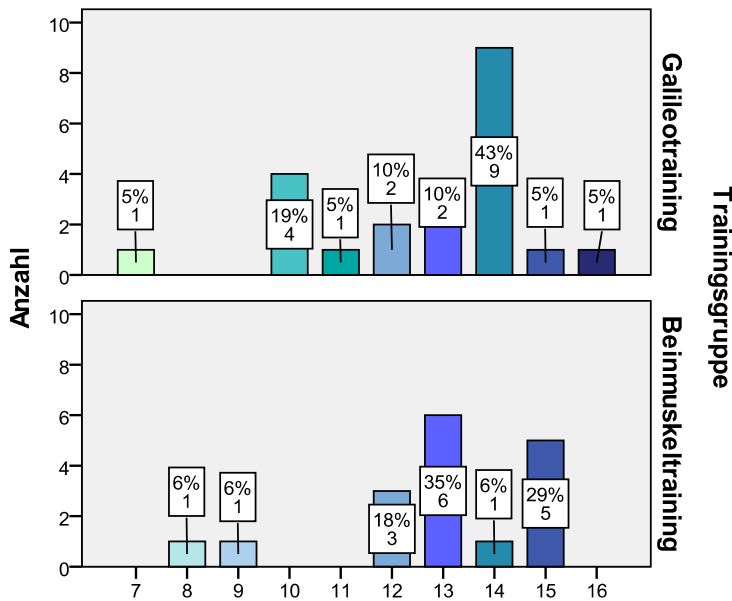
## 5.2.6 Training

### Anstrengungsempfinden

Unter Anwendung der RPE-Skala von Borg (Skala von 6 bis 20) konnte das Anstrengungsempfinden der Probanden während des Trainings ermittelt werden. Aus Abb. 31 geht hervor, dass in der Galileogruppe 43 % der Patienten das Training auf der Skala von Borg mit dem Anstrengungsgrad 14 bewerteten, welches sich zwischen dem Anstrengungsempfinden „etwas anstrengend“ und „anstrengend“ bewegt.

Für 19 % der Galileigruppe entsprach das Anstrengungsempfinden des Trainings der Zahl 10 der Skala von Borg mit der Bedeutung: „extrem leicht“ bis „leicht“. Im Gegensatz dazu beschrieben 35 % der Beinmuskelgruppe das Training mit dem Anstrengungsgrad 13 „etwas anstrengend“ und 29 % empfanden das Training als „anstrengend“ (15 auf der Borg-Skala), wohingegen bei 18 % der Gruppe das Anstrengungsempfinden bei 12 lag, also „leicht bis etwas anstrengend“.

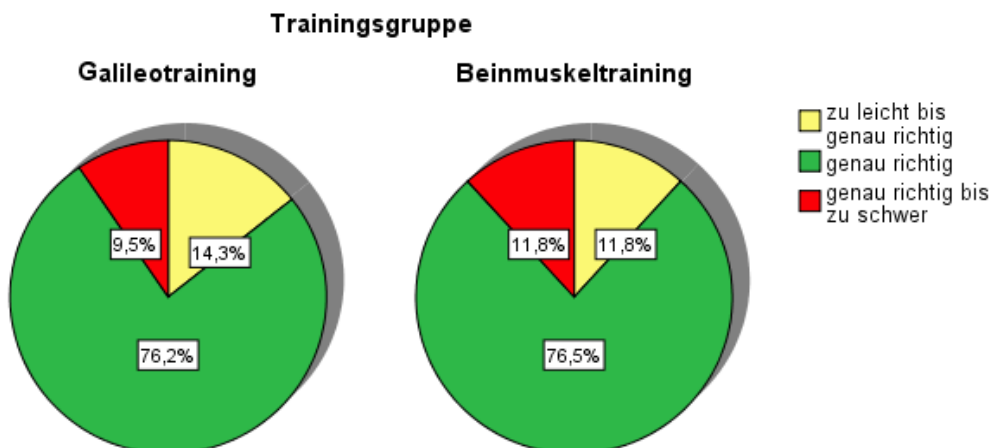
**Abb. 31 Beurteilung des Anstrengungsempfindens des Trainings auf der Skala von Borg (6 = überhaupt nicht anstrengend und 20 = maximale Anstrengung)**



Schwierigkeitsgrad

Den Schwierigkeitsgrad des Trainings schätzten ca. 76 % der Teilnehmer beider Trainingsgruppen als „genau richtig“ ein. In der Beinmuskelgruppe waren 12 % und in der Galileo-Gruppe 10 % der Meinung, dass das Training sich zwischen „genau richtig“ und „zu schwer“ befinde (vgl. Abb. 32).

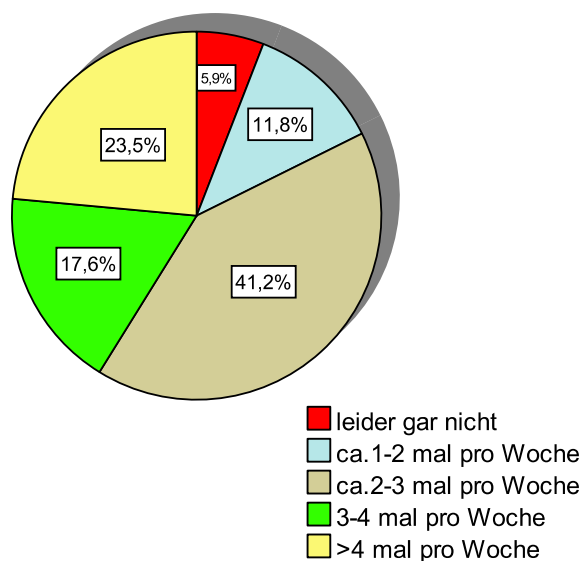
**Abb. 32 Bewertung der Schwierigkeit des Trainings in den beiden Trainingsgruppen**



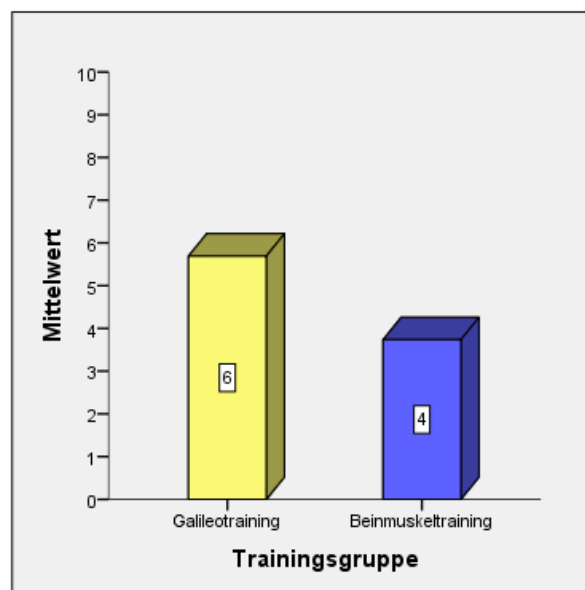
### Häufigkeit des Heimtrainings der Beinmuskelgruppe

Die Erfassung der Trainingshäufigkeit der Probanden des Beinmuskeltrainings in der Zeit des Heimtrainings zu Hause zeigte, dass durchschnittlich 2-3 mal pro Woche trainiert wurde. Die Verteilung der Trainingshäufigkeit in der Beinmuskelgruppe verdeutlicht Abb. 33.

**Abb. 33 Häufigkeit der Durchführung des Beinmuskeltrainings zu Hause im Zeitraum U2 zu U3**



**Abb. 34 Bewertung des Trainingserfolgs der beiden Trainingsgruppen auf einer Skala von 0-10 (0 = kein Erfolg, 10 = größter vorstellbarer Erfolg)**

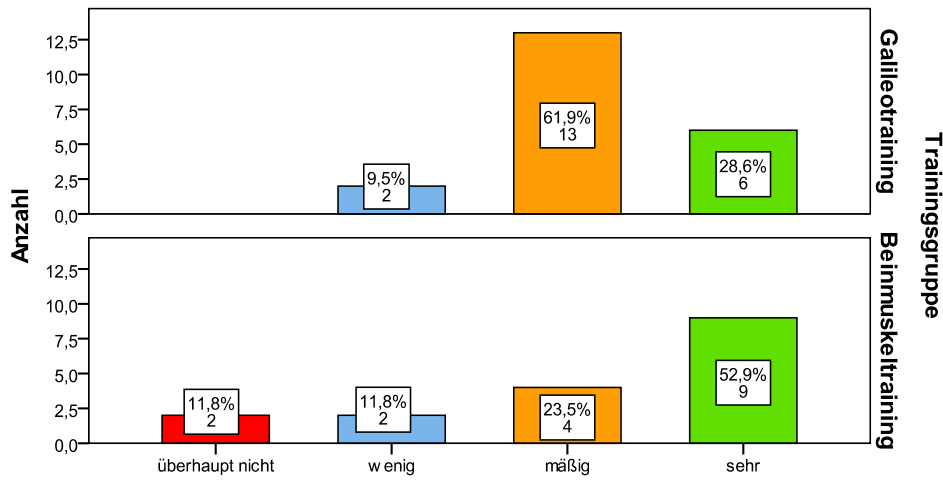


### 5.2.7 Subjektive Trainingsbewertung

Zum Studienende erfolgte die Bewertung des Trainingserfolgs mit Hilfe der NRS von 0 bis 10. Aus Abb. 34 ist zu erkennen, dass die Galileogruppe den persönlichen Erfolg des Trainings auf der Skala im Mittel mit sechs Punkten bewertete, zwei Skalapunkte höher als die Bewertung der Beinmuskelgruppe mit vier Skalapunkten.

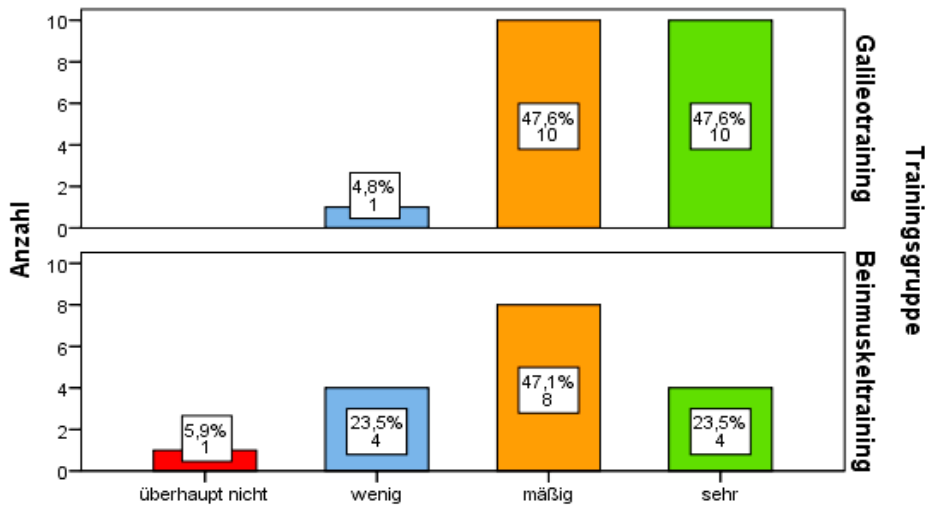
Nach den zwölf Wochen erfolgte neben der Befragung zur Gesamteinschätzung des Trainings auch die Befragung zur Motivation wieder Sport zu treiben und zum Einfluss des Trainings auf das Wohlbefinden der Studienteilnehmer. Abb. 35 und 36 geben grafisch die Antworten der beiden Gruppen wieder. Von den 38 Teilnehmern, die die Studie bis zum Ende durchführten, gaben insgesamt 40 % der Probanden (29 % der Teilnehmer der Galileogruppe und 53 % der Beinmuskeltrainingsgruppe) an, dass sie die Studie sehr motiviert habe wieder Sport zu treiben. 45 % der Teilnehmer (62 % der Galileogruppe und 23,5 % der Beinmuskelgruppe) gaben an, dass sie mäßig motiviert worden seien wieder sportlich aktiv zu werden.

**Abb. 35 Vergleich der Antworten der beiden Gruppen zur Frage: „Hat die Teilnahme an der Studie Sie motiviert wieder Sport zu treiben?“**



Insgesamt empfanden 37 % der 38 Probanden (davon mehr als 50 % aus der Galileogruppe), dass die Teilnahme an der Studie sehr zur Steigerung ihres Wohlbefindens beigetragen habe. In beiden Gruppen waren ca. 47 % der Meinung, dass die Studienteilnahme zu einer mäßigen Steigerung des Wohlbefindens geführt habe. Bei der Beinaergruppe zeigte sich, dass knapp ein Viertel der Probanden äußerten, die Studie hätte nur wenig zu ihrem eigenen Wohlbefinden beigetragen.

**Abb. 36 Vergleich der Antworten der beiden Gruppen zur Aussage: „Die Trainingsteilnahme trug zur Steigerung ihres Wohlbefindens bei.“**



## 6. Diskussion

### 6.1 Sechs-Minuten-Gehtest

Unter Anwendung des Sechs-Minuten-Gehtest sollte ermittelt werden, ob sich im Verlauf des absolvierten Trainings im Zeitraum von zwölf Wochen eine signifikante Verbesserung der Laufleistung einstellte, und ob in einer der beiden Trainingsgruppen bessere Resultate erzielt wurden.

Weder in der Beinmuskelgruppe noch in der Galileogruppe konnte jedoch im besagten Trainingszeitraum eine signifikante Verbesserung der Laufleistung erzielt werden. Trotzdem zeigte sich in dieser Zeit in der Beinmuskelgruppe eine höhere gemittelte Zunahme der Laufleistung als in der Galileogruppe. Die Beinmuskelgruppe verzeichnete eine gleichmäßige kontinuierliche Steigerung der Laufleistung von U1 zu U2 sowie U2 zu U3 von 17,8 m bzw. 19 m, die besonders durch das aktive Training der Beinmuskulatur erreicht wurde. Die Trainingslänge des Beinmuskeltrainings lag bei ca. 90 min pro Woche und trug so sichtbar zur Steigerung der Kondition bei. Im Gegensatz dazu lag die Trainingslänge des passiven Trainings zur Kräftigung der Muskulatur auf dem Galileogerät nur bei ca. 10 min pro Woche und führte zu keiner Steigerung der Laufleistung.

Zur Bewertung der Gehleistung der Probanden zum Studienbeginn kam die von Enright und Sherill aufgestellte Formel zur Berechnung des Mindestwertes der Gehleistung zur Anwendung. Damit konnte gezeigt werden, dass die Teilnehmer beider Trainingsgruppen sich im Bereich der Mindestgehstrecke befanden und darüber hinaus 163 m in der Galileogruppe und 121 m in der Beinmuskelgruppe zurückgelegt wurden. Aufgrund der bereits sehr guten Ausgangswerte der Studienteilnehmer wäre eine signifikante Steigerung der Gehleistung daher überraschend gewesen.

Die Anwendung der von Enright und Sherrill aufgestellten Regressionsgleichung sollte aber unter Vorbehalt bei Probanden, die jünger als 40 Jahre oder älter als 80 Jahre sind, erfolgen. [81] [82] Die aufgestellte Gleichung kann nur ca. 40 % der Variabilität der Gehstrecke erklären. [81] Die verbleibende Variabilität des Gehtests wird durch die unterschiedliche Muskelkraft, den Trainings- und Ausdauergrad des Probanden erklärt. [54] Zusätzlich können aber auch noch gesundheitliche Komplikationen wie Arthritis, Arthrose, Varizen und vor allem Schmerzen in den Beinen, der Hüfte und dem Rücken hineinspielen. [83]

Zu den Gründen des Anhaltens während der Testdurchführung bzw. des vorzeitigen Beendens des Gehstests zählten in dieser Studie Beinkrämpfe bei einer Teilnehmerin und Atemnot aufgrund einer abklingenden Bronchitis und bekannter Asthmabeschwerden bei einer anderen Teilnehmerin.

Kurz nach dem Gehstest klagten einige Probanden, wie auch in anderen Studien bereits festgestellt, über Schmerzen des Bewegungsapparates, tibiale Schmerzen, muskuläre Müdigkeit und Belastungsdyspnoe. Bei dem ventralen tibialen Schmerz handelt es sich um einen Schmerz, der bei schnellem Gehen auf einem harten Untergrund auftreten kann. [83]

Bislang stehen noch keine Referenzwertvergleiche der gesunden Population zur Verfügung, die auf der Anwendung von standardisierten 6MWT-Methoden beruhen. [57] Die normale Laufleistung des Sechs-Minuten-Gehstests liegt für Untrainierte bei ca. 700-800 m. [80] Dies zeigt, dass die Laufleistungen der Lipödempatienten sowohl in der Galileogruppe mit 596 m als auch in der Beinmuskelgruppe mit 521 m zur U1 deutlich unter der Leistung der Untrainierten liegen. In einer Studie mit übergewichtigen Frauen (BMI 32, Altersdurchschnitt 39,5 Jahre) betrug die gemittelte Gehstrecke des 6MWT jedoch ca. 591,3 m (SD±54,2) [83] und befindet sich hiermit im Bereich des Gehvermögens der Studienteilnehmer. Wie aus diesen Beispielen deutlich wird, beeinflusst der Gesundheitszustand die Laufleistung des Gehstests. Übergewicht und mangelnde Muskelkraft infolge der vorhandenen Immobilität, wie es auch bei den Lipödempatienten vermehrt zu finden ist, können zu einer verringerten Laufleistung führen.

Zur Durchführung des Gehstests in dieser Studie sind einige Kritikpunkte zu nennen. Der 6MWT erfolgte nicht vollständig konform mit den festgelegten Standards der American Thoracic Society (ATS). Die Testwiederholungen sollten zur gleichen Zeit des Tages erfolgen, um die Schwankungen des Tages zu umgehen. [57] Die Messung der zurückgelegten Laufstrecke erfolgte per Hand mit einem Maßband. Dagegen ermöglicht die Anwendung eines Rolltachometers oder eines Pedometers (Schrittzählers) eine exaktere Messung der Laufstrecke. [81]

Aus den Ergebnissen des Gehstestes der Lipödempatienten zu den drei Untersuchungszeitpunkten kann geschlussfolgert werden, dass im Zusammenhang mit dem Beinmuskeltraining eine deutlichere und kontinuierlichere Zunahme der Laufleistung erzielt werden konnte als in der Galileogruppe. Der Grund hierfür liegt vermutlich in dem besseren Vermögen des Beinmuskeltrainings, die Kondition der Probanden zu trainieren.

## 6.2 Dolorimetermessung

Das Hauptziel der Studie bestand in einer Erhöhung der Druckschmerzschwelle im Beinbereich. Die Haupthypothese ging davon aus, dass das Galileotraining zu einer effektiveren Schmerzlinderung im Beinbereich führt als ein allgemeines Übungsprogramm zur Aktivierung der Beinmuskelpumpe.

Nach den ersten sechs Trainingswochen (Untersuchungszeitraum U1 zu U2) zeigte sich sowohl in der Beinmuskelgruppe als auch in der Galileogruppen eine signifikante Anhebung der Druckschmerzschwelle in allen Messpunkten der Beine. Die Anhebung der Druckschmerzschwelle des Vibrationstrainings mit dem Galileogerät fiel dabei jedoch um  $0,35 \text{ kg/cm}^2$  höher aus als in der Beinmuskelgruppe.

In der zweiten Trainingshälfte der Studie (Untersuchungszeitraum U2 zu U3) ließen sich weitere Unterschiede in den Messwerten der beiden Gruppen ablesen. Das kontinuierliche Training der Beinmuskelgruppe führte im besagten Zeitraum zu einem signifikanten Anstieg der Druckschmerzschwelle um weitere  $0,27 \text{ kg/cm}^2$ . Das Beinmuskeltraining erreichte somit erst nach den gesamten zwölf Wochen Training eine annähernd gleiche Anhebung der Druckschmerzschwelle, die in der Galileotraininggruppe bereits nach sechs Wochen erreicht wurde.

Die um  $0,14 \text{ kg/cm}^2$  geringere Zunahme der Druckschmerzschwelle in der zweiten Trainingshälfte des Beinmuskeltrainings im Vergleich zur ersten Hälfte könnte durch das Heimtraining erklärt werden. Trotz der guten Vorbereitung auf das Trainieren zu Hause durch das gemeinschaftliche Üben in der Klinik in den ersten sechs Trainingswochen und des Festhaltens der Übungen in einem Übungsheft scheint das Trainieren zu Hause sich doch vom Training unter Betreuung zu unterscheiden. Es ist allgemein bekannt, dass es sehr schwer ist, die Eigenmotivation ohne die Mitmotivation durch andere aufrechtzuerhalten.

Das Vibrationstraining führte im trainingsfreien Intervall im Zeitraum U2 zu U3 zu keiner weiteren signifikanten Veränderung. Die abrupte Stagnation der Zunahme der Druckschmerzschwelle in der Galileogruppe von  $0,70 \text{ kg/cm}^2$  in den ersten sechs Wochen und eine weitere, jedoch geringere Zunahme um  $0,05 \text{ kg/cm}^2$  in der zweiten Hälfte kennzeichneten sehr deutlich die Beendigung des Vibrationstrainings.

Bei dem Vergleich der Dolorimetermessungen zwischen den beiden Trainingsgruppen konnte in Bezug auf die Anhebung der Druckschmerzschwelle zu den drei Untersuchungszeitpunkten kein signifikanter Unterschied aufgezeigt werden.

Diese Studie zeigt, dass in dem geprüften Zeitraum unter den entsprechenden Trainingsbedingungen keine der beiden Trainingsmethoden der anderen überlegen ist. Unter dem Aspekt der Effektivität kann jedoch geschlussfolgert werden, dass mit dem Vibrationstraining in der Hälfte der Zeit eine ähnliche Zunahme der Druckschmerzschwellenmessung erreicht werden kann wie mit einem Beinmuskeltraining innerhalb von zwölf Wochen. Es müsste weiter untersucht werden, ob sich der anhaltende Effekt des Galileotrainings mit dem des Beinmuskeltrainings vergleichen lässt. Trotz der Beendigung des Trainings in der Galileogruppe konnte in dem trainingsfreiem Intervall eine weitere geringfügigere, jedoch nicht signifikantere Zunahme der Druckschmerzschwelle in den Oberschenkeln vorne, in den Unterschenkeln, in den Knöcheln und in den Füßen verzeichnet werden.

In beiden Gruppen erfolgte in den Knien und in den Knöcheln die geringste Anhebung der Druckschmerzschwelle. In der Beinmuskelgruppe zeigte sich die größte Zunahme der Druckschmerzschwelle im Unterschenkel, gefolgt vom Fuß und dem Oberschenkel. Dies lässt sich mit den gezielten Übungen zur Stärkung der Bein- und Fußmuskulatur erklären. In der Galileogruppe erfolgte der größte Anstieg der Druckschmerzschwelle im Oberschenkel hinten, gefolgt vom Unterschenkel und Oberschenkel vorne. Das verdeutlicht, dass die gewählten Übungen für das Vibrationstraining auf dem Galileogerät vermutlich diese Bereiche des Beines am stärksten trainierten und dort so eine größere Schmerzreduzierung induzierten.

Die Absolvierung des Trainings rief keine Änderung der Reihenfolge der Druckempfindlichkeit am Bein hervor. Sowohl in der Galileogruppe als auch in der Beinmuskelgruppe zählte der Kniebereich zu den druckempfindlichsten Bereichen des Beines, gefolgt von Unterschenkel, Oberschenkel, Knöchel und den Füßen. Dieses Ergebnis stimmt mit der klinischen Beschreibung der Schmerzempfindlichkeit der Lipödempatienten überein, welche ihre Beschwerden vor allem im Ober- und Unterschenkel mit einem Schmerzmaximum insbesondere unterhalb des Knies äußerten. [4] [8] [28] [32] Im Gegensatz dazu steht die Darstellung in der Dissertation von Pötter (1996) „Bestimmung der Druckschmerzschwelle bei Patienten mit Lipödem und Lymphödem der unteren Extremitäten“, wonach die Druckempfindlichkeit bei Lipödempatienten im Knöchel am größten sei, gefolgt vom Unterschenkel, Knie, Fuß und zuletzt Oberschenkel. [84]



Der Vergleich des Mittelwertes der Gesamtmesspunkte der Beine der Lipödempatienten dieser Studie zum Untersuchungszeitpunkt U1 von  $2,44 \text{ kg/cm}^2$  mit den Werten der Studie von Pötters zeigt, dass sich eher eine Übereinstimmung der Druckschmerzschwelle mit den Lipolymphödempatienten ( $2,47 \text{ kg/cm}^2$ ) als mit den Lipödempatienten ( $1,51 \text{ kg/cm}^2$ ) finden lässt. Die Diganose des Lipödems wird jedoch rein klinisch gestellt, die Abgrenzung zum Lipolymphödem kann schwierig sein besonders durch den subjektiven Aspekt bei der Beurteilung der Schwellung der Beine. Es konnten bisher noch keine Standardwerte etabliert werden aus denen die Pathologie abgelesen werden kann, auch Fall-kontrollierte Studien haben keine konstanten Resultate erbracht. [85]

Schmerzwahrnehmung wird durch persönliche Erfahrungen geprägt und ist eine subjektive Empfindung, die bei jedem Menschen verschieden ist. [86] Dies erklärt auch, warum sich bei der Druckschmerzschwellenmessung so große Variabilitätsunterschiede zwischen den Messungen der einzelnen Probanden finden lassen. [85] Die Messung der Druckschmerzschwelle wird beeinflusst von der Reaktionsfähigkeit der Probanden und der Untersucher [87] [88], vom Alter, dem Geschlecht und möglicherweise auch vom kulturellen Hintergrund der Probanden [86] [87] sowie von psychologischen und soziologischen Faktoren. [89] [90] [91]

Die Gültigkeit, die Zuverlässigkeit und die Reproduzierbarkeit der Druckschmerzschwellenmessung wurden von verschiedenen Autoren in unabhängigen Arbeiten belegt. [58] [92] Die Beibehaltung der konstanten Druckstärke mit der Applikation des Druckschmerzes in einem korrekten Winkel wird in der Literatur als eines der kritischsten Aspekte der Dolorimetermessung beschrieben und stellt eine besondere Fehlerquelle dar. [88] Bezogen auf die Form und Größe der Dolorimetermessspitze besitzen die halbkugelförmigen Messspitzen gegenüber den flachen Spitzen den Vorteil, dass der Druck gleichmäßig auf das sich unter der Haut befindliche Gewebe übertragen wird, auch wenn die Messung nicht exakt im rechten Winkel zur Oberfläche ausgeführt wird. [87]

Bezogen auf den Studienaufbau ist zu kritisieren, dass zur Druckschmerzschwellenmessung ein mechanisches, handgehaltenes Dolorimetergerät mit einer Feder verwendet wurde anstatt einem digitalen Druckschmerzschwellenmessgerät. Messfehler durch die Verzögerungen der Reaktionsfähigkeit, welche vom Probanden und vom Untersucher ausgehen, können mit einem digitalen Gerät vermindert werden, indem der Proband die Möglichkeit bekommt, selbst durch einen Knopfdruck die Messung zu beenden, wenn die Druckempfindung in den Schmerz übergeht.

Ein Druckschmerzschwellengerät, welches automatisch die Druckschmerzschwelle um 1 kg/s gleichmäßig steigern kann, führt generell zu verlässlicheren Messwerten. [93] Des Weiteren fehlte es an einer Vergleichsgruppe, einer Lipödemgruppe ohne Trainingseinheiten, um die auftretenden Veränderungen der Druckschmerzschwellenmessung besser beurteilen zu können.

Zusammenfassend kann jedoch geschlussfolgert werden, dass ein Beintraining sowohl in der Form eines Vibrationstrainings mit dem Galileogerät als auch in Form eines Gymnastiktrainings für die Beinmuskulatur in einem Zeitraum von zwölf Wochen zu einer signifikanten Abnahme der Schmerzempfindlichkeit in den Beinen der Lipödempatienten führte. Mit dem Vibrationstraining konnte jedoch im Vergleich zum Beinmuskeltraining in der Hälfte der Zeit eine ähnliche Zunahme der Druckschmerzschwellenmessung erreicht werden.

### **6.3 Die DXA-Untersuchung**

Mit Hilfe der DXA (Ganzkörperuntersuchung), einem diagnostischen Verfahren zur Untersuchung der Gewebezusammensetzung, erfolgte die genauere Untersuchung der Volumenänderung bezogen auf die Veränderung der Fett- und Magergewebsverhältnisse in den Beinen im zwölfwöchigen Studienzeitraum.

In dieser Studie sollte untersucht werden, inwieweit ein gezielt eingesetztes Beinmuskeltraining und ein Vibrationstraining auf dem Galileogerät eine Änderung der Fett- und Magergewebsverhältnisse in den Beinen der Lipödempatienten hervorrufen. Andererseits muss diskutiert werden, ob die eine Trainingsmethode der anderen überlegen ist, bezogen auf die Steigerung der Muskelmasse und der Senkung des Fettgewebes in den Beinen.

#### Die Veränderung des Fettgewebes

Weder in der Beinmuskelgruppe noch in der Galileogruppe ließ sich eine signifikante Änderung des Fettgewebes in den Beinen im Trainingszeitraum feststellen. Im Untersuchungszeitraum U1 zu U3 zeigte sich in der Beinmuskelgruppe eine sich der Signifikanz annähernde Abnahme des Fettgewebes mit  $p = 0,067$ . Bei der Gegenüberstellung der beiden Trainingsmethoden, bezogen auf die Veränderung des Fettgewebes, ließen sich keine signifikanten Unterschiede feststellen. Keine der beiden Trainingsmethoden ist in Bezug auf die Abnahme des Fettgewebes der anderen überlegen und kann zur Trainingsdurchführung vorgezogen werden.

Bezogen auf die Mittelwertdifferenzen in kg erfolgte in beiden Gruppen zu den drei Untersuchungszeitpunkten eine ähnliche Abnahme des Fettgewebes um ca. 0,43 kg in der Beinmuskelgruppe und ca. 0,42 kg in der Galileogruppe.

Interessanterweise erfolgte in beiden Gruppen, trotz der trainingsfreien zweiten Hälfte der Galileogruppe, vom Untersuchungszeitraum U1 zu U2 sowie U2 zu U3 eine nahezu identische Fettabnahme von 0,2 kg auf je sechs Wochen verteilt. Es ist fraglich, ob es sich bei dieser ähnlichen Fettabnahme in beiden Gruppen um einen ganz normalen Prozess handelt, der bei einem einsetzenden Training der Beinmuskulatur eintritt oder ob diese Veränderungen ganz normale Fettschwankungen darstellen. Wie zuvor ausgeführt, könnte in diesem Fall eine in dieser Studie fehlende Lipödemgruppe ohne Trainingsdurchführung weitere notwendige Ergebnisse bringen. Bei der weiteren Fettabnahme in der Galileogruppe während der trainingsfreien Zeit könnte es sich auch um einen erst später einsetzenden Effekt des Trainings handeln. Vielleicht induziert das Training einen speziellen, noch nicht verstandenen Fettabbauprozess.

Viele Studien haben die verlässliche Reproduzierbarkeit und Genauigkeit der DXA-Untersuchung erwiesen [61] [62] [68] Allerdings liefern derzeitige Untersuchungen aber Belege dafür, dass die DXA-Ganzkörperuntersuchung zu Fehlern bei der Fettberechnung führen kann, bedingt durch Veränderungen der Hydratation im Weichgewebe. [63] [65] [94] [95] Eine variierende Hydratation durch eine vermehrte Flüssigkeitsaufnahme oder sich über den Tag verändernde physiologische Prozesse sowie verändernde Bedingungen durch Bewegung und Temperatureinflüsse können zu Fehlern bei der Genauigkeit der DXA-Fettberechnung führen. [94] Simulierte Experimente deuten auf Fehler bei der DXA-Fettberechnung von  $< 1\%$  bei Hydratationsänderungen von 1-5 % hin. [94] Jedoch können die Fettberechnungsfehler auch weit über diesem Fehlerwert (nämlich bei 20-25 %) liegen, wenn das Weichgewebe eine ernsthafte übermäßige Hydratation aufweist. [94] Dies spielt natürlich bei Lipödempatienten mit gleichzeitig vorhandenen Lymphödem eine Rolle.

### Die Veränderung des Magergewebes

Das zwölfwöchige Übungsprogramm führte weder in der Galileogruppe noch in der Beinmuskelgruppe zu einer signifikanten Veränderung des Magergewebes in den Beinen. Interessanterweise ergaben sich beim Vergleich der beiden Trainingsgruppen untereinander der Signifikanz nähernde Werte mit  $p = 0,066$  zum Untersuchungszeitraum U1 zu U2,  $p = 0,077$  zum Untersuchungszeitraum U2 zu U3 und auch in der Gesamtbetrachtung der Untersuchungszeit von U1 zu U3 mit  $p = 0,070$ .

In der Beinmuskelgruppe fällt auf, dass in den ersten sechs Wochen eine gemittelte Zunahme des Magergewebes von 0,13 kg erfolgte, die jedoch in der zweiten Hälfte der Studie nur um

gemittelte weitere 0,02 kg gesteigert werden konnte. Dieses Ergebnis wirft einige Fragen auf, denn letztendlich sollte bei einem fortlaufenden Training ein ähnlicher Anstieg in der zweiten Hälfte erfolgen. Es liegt die Vermutung nahe, dass das Training zu Hause nicht mit der gleichen Intensität durchgeführt wurde, wie es in der Klinik erfolgte. Aus der Befragung der Trainingshäufigkeit der Beinmuskelgruppe zu Hause ging jedoch hervor, dass durchschnittlich 2-3 mal pro Woche trainiert wurde. In der Galileogruppe zeigte sich sowohl im Untersuchungszeitraum U1 zu U2 als auch im Untersuchungszeitraum U2 zu U3 eine ähnliche gemittelte geringe Zunahme des Magergewebes von jeweils 0,09 kg und 0,05 kg. Es stellt sich die Frage, inwiefern das Vibrationstraining für den anhaltenden Effekt der Magergewebiszunahme in der zweiten trainingsfreien Zeit der Galileogruppe verantwortlich ist.

Mittels wiederholter über den Tag verteilter DXA-Messungen an den gleichen Versuchspersonen konnte ein Variationskoeffizient für das Fettgewebe von 0,8 % und für das fettfreie Magergewebe von 2 % (1-1,5 % [65]) ermittelt werden. [68] Im Rahmen dieser Messungenauigkeiten bewegen sich auch die Ergebnisse dieser Studie. Die gemittelte prozentuale Abnahme des Fettgewebes liegt im gesamten Untersuchungszeitraum in der Galileogruppe bei 2 % und in der Beinmuskelgruppe bei 2,6 %. Hinzu kommt der Einfluss der Hydratation im Fettgewebe. Für das Magergewebe ergibt sich für den gesamten Studienzeitraum eine gemittelte prozentuale Zunahme in der Galileogruppe von 1,2 % und für die Beinmuskelgruppe von 0,2 %. Eine Bewertung der Veränderung der Körperzusammensetzung als Zu- oder Abnahme in dieser Studie sollte aufgrund der aufgeführten Fehlermöglichkeiten mit Vorsicht erfolgen und daher in dieser Arbeit nur als einen mathematischen Ausdruck verstanden werden.

Der Vorteil der Ganzkörperuntersuchung besteht darin, dass es sich um eine nicht invasive Untersuchungstechnik handelt, die in allen Altersgruppen Anwendung finden kann. [61] [62] [96] Der Nachteil dieser Untersuchungsmethode liegt in der Strahlenbelastung [61] [62] [94], wobei diese Strahlendosis allerdings als sehr gering angesehen werden kann. Das DXA-Gerät der Firma Lunar mit dem in dieser Studie verwendeten Models Prodogy geht lediglich von einer Patientenstrahlendosis von 0,37  $\mu$ Sv aus. [61] Dies entspricht einer Strahlenbelastung von 1-10 % einer normalen Thoraxröntgenaufnahme. [62]

Im Vergleich hierzu liegt die durchschnittliche natürliche jährliche Strahlenbelastung bei ca. 2,1 mSv und die zusätzliche zivilisatorische Strahlenexposition (Medizin, Technik, Forschung und Anlagen) bei jährlichen 1,9 mSv. [97]

Die Reduktion des Körperfettes sowie die Steigerung der Muskelmasse und der Muskelkraft sind die wichtigsten Ziele eines jeden Übungs- und Trainingsprogrammes. [48] Aus dieser Studie geht aber hervor, dass bei Lipödempatienten in einem Trainingszeitraum von zwölf Wochen weder ein gezieltes Beinmuskeltraining in Form gymnastischer Übungen noch ein Vibrationstraining auf dem Galileotrainingsgerät zu einer signifikanten Fettabnahme und einer gleichzeitigen Magergewebiszunahme führten. Die geringfügig gemittelten Änderungen im Fett- und Magergewebe könnten mit Hilfe des Variationskoeffizienten für wiederholende Messungen sowie der Hydratationsänderung erklärt werden. Um genauere Schlussfolgerung zu ziehen, ist eine längere Studiendauer empfehlenswert.

#### **6.4 Volumenveränderung**

In dieser Studie sollte unter anderem der Frage nachgegangen werden, ob das Galileotrainingsgerät zu einer effektiveren Volumenreduktion im Beinbereich führt als ein Übungsprogramm zur Aktivierung der Beinmuskelpumpe. In diesem Abschnitt gilt es die Veränderungen innerhalb der Trainingsgruppen sowie die Unterschiede beim Vergleich der beiden Gruppen zu diskutieren.

In der Beinmuskelgruppe ließen sich keine signifikanten Veränderungen des Beinvolumens feststellen. Es zeigten sich jedoch Veränderungen, welche entgegen der erhofften Volumenabnahme der Beine eine Volumenzunahme zeigten. In dem gesamten Studienzeitraum von zwölf Wochen kam es in der Beinmuskelgruppe sowohl in den ersten sechs Wochen als auch in den zweiten sechs Wochen zu einer ähnlichen Volumenzunahme von 140 ml bzw. 170 ml. Im Vergleich zur Beinmuskelgruppe konnte in der Galileogruppe eine signifikante Veränderung aufgezeigt werden. Es handelt sich hierbei um eine signifikante Zunahme ( $p < 0,0005$ ) des Volumens. Auffallend dabei war, dass der größte Anteil dieser Volumenzunahme von insgesamt 535,3 ml in den ersten sechs Wochen während der Trainingszeit erfolgte. In der trainingsfreien zweiten Hälfte im Untersuchungszeitraum U2 zu U3 des Galileotrainings war lediglich eine weitere Zunahme von 126,6 ml zu verzeichnen.

Diese Ergebnisse widerlegen die anfangs aufgestellte Vermutung, dass ein gezieltes Training der Beine der Lipödempatienten zu einer Volumenreduktion führt. Die Hypothese, dass das Galileotrainingsgerät eine effektivere Reduktion des Beinvolumens hervorruft, kann hiermit auch nicht bestätigt werden.

Des Weiteren konnte beim Vergleich der Zunahme des Beinvolumens zwischen den beiden Gruppen kein signifikanter Unterschied festgestellt werden; wodurch auch hier nicht von der Überlegenheit der einen Trainingsmethode gegenüber der anderen gesprochen werden kann.

Es stellt sich jedoch die Frage, worum es sich bei der Volumenzunahme handelt: Flüssigkeit, Fett- oder Magergewebe? Wie bereits im vorherigen Abschnitt dargestellt, zeichnete sich bei der Messung der Ganzkörperzusammensetzung eine Tendenz zur Abnahme des Fettgewebes und eine Zunahme des Magergewebes ab. Aus mathematischer Sicht müsste sich hieraus bei der Differenzbildung eine Abnahme des Beinvolumens von 280 g ergeben. Im Gegensatz dazu zeigte sich bei der Perometermessung eine Volumenzunahme der Beine von 535 ml in der Galileogruppe und 415 ml in der Beinmuskelgruppe. Eine Erklärung für diese Unterschiede bei den Messungen könnten auftretende Messfehler sowie äußere Einflussfaktoren wie Ernährung, Bewegung und schwankende Temperaturverhältnisse sein.

Die Anwendung der Perometermessung muss jedoch auch unter einem kritischen Aspekt betrachtet werden. Die Perometermessung der Studienteilnehmer erfolgte zu den drei Untersuchungszeitpunkten nie zur gleichen Zeit. Da einige der Patienten unter einem zusätzlichen Lymphödem leiden, bei dem das Schwellungsmaximum am Nachmittag und Abend liegt und die Untersuchungen der berufstätigen Teilnehmer zu dieser Zeit erfolgte, ist die Messung des Perometers mit einer gewissen Einschränkung zu bewerten. Weiterhin erfolgte die Messung des Volumens der Beine aufgrund logistischer Schwierigkeiten bei einigen Probanden nach dem Gehstest. Ein vor der Perometermessung durchgeführter Gehstest kann jedoch durch eine Steigerung des Metabolismus in der Muskulatur und des Gewebes zu einer erhöhten Volumenmessung beigetragen haben.

Vergleichbare Studien zur Volumenmessung der vom Lipödem betroffenen unteren Extremitäten sowie die Anwendung der Perometermessung im Zusammenhang mit anderen Trainingsstudien existieren bisher noch nicht. Die Perometermessung gilt als eine schnelle sowie nicht-invasive, [73] präzise und leicht anzuwendende Methode zur Volumen- und Profilmessung der Extremitäten. [75] Diese Form der Volumenmessung hat sich mehr und mehr zum Goldstandard in der Volumenmessung entwickelt [98], bedingt durch die Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit [72] und der unproblematischen Anwendung bei Infektionen der Haut und offenen Wunden. [73]. Das Gerät bedarf keiner Kalibrierung vor der Anwendung und wird als nützliches Werkzeug sowohl in der Klinik als auch in der Forschung angesehen. [73] [75]

Letztendlich kann aber keine Methode der existierenden Techniken der Volumenmessung als ideal betrachtet werden. [75] Eine inkorrekte Positionierung der Extremitäten im Messrahmen des Gerätes in der horizontalen, vertikalen und longitudinalen Ebene kann sich auf die Volumenmessungen der Extremitäten negativ auswirken. [72] Fehlplatzierungen eines Zylinders in der horizontalen und vertikalen Achse des Perometerrahmens führen zu abweichenden Volumenberechnungen von 0,4-3,1 %. [73] Bei der Volumenberechnung geometrischer Objekte konnte gezeigt werden, dass das Perometergerät im Vergleich zur mathematischen Volumenberechnung ein verringertes Volumen angibt (Zylinder 0,8-2,4 %, Pyramidenstumpf 4,6 %, Würfel 13,5 %). [73] Im Gegensatz dazu zeigte eine andere Studie anhand einer Zylindervolumenberechnung eine mit 2,2 % geringfügige Mehrberechnung des Volumens durch die Perometermessung gegenüber der mathematischen Berechnung. [74] Für den Variationskoeffizient für wiederholende Volumenmessungen des Perometergerätes werden verschiedene Angaben gemacht (0,1-0,6 % [73] und 0,17 % [74]).

Die Teilnehmer in dieser Studie waren mit der Anwendung des Perometergerätes gut vertraut, da sie im Zusammenhang der Betreuung in der Klinik für Physikalische Medizin und Rehabilitation der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin des Öfteren mit der Volumenmessung durch das Perometergerät konfrontiert werden. Dennoch stellt sich die Frage, ob die geringe prozentuale Volumenzunahme von insgesamt 4,2 % in der Galileogruppe und 3,5 % in der Beinmuskelgruppe womöglich auch durch Fehlplatzierungen im Rahmen des Gerätes, durch die unterschiedliche Messzeiten und Messsituationen oder durch andere mögliche Messfehler erklärt werden kann. Wiederholende Messungen hätten hierbei mehr Aufschluss geben können.

Aus den Ergebnissen der Perometermessung geht hervor, dass weder die Durchführung des Vibrationstrainings in der Galileogruppe noch das Training in der Beinmuskelgruppe in einem Zeitraum von zwölf Wochen zu einer Abnahme des Volumens in den Beinen der Lipödempatienten führte. Die Trainingsdurchführung führte gerade im Gegenteil sowohl in der Galileogruppe als auch in der Beinmuskelgruppe zu einer Zunahme des Beinvolumens. In der Galileogruppe konnte sogar eine signifikante Zunahme des Beinvolumens vom Untersuchungszeitraum U1 zu U3 mit 535 ml verzeichnet werden, also 125 ml mehr als in der Beinmuskelgruppe.

## **6.5 Training**

### **6.5.1 Beinmuskeltraining**

Einige Studienteilnehmer berichteten nach dem ersten Training über leichte Myalgien (Muskelkater) im Schienbein und/oder Unterschenkel. Während des Trainingszeitraumes klagten die Probanden immer weniger über Muskelkater, jedoch kamen vereinzelt Beschwerden über Schmerzen in den Zehen (Hallux-valgus-Schmerzen), Spannungsgefühl in den Knöcheln und leichte, wieder einsetzende Knie- und Rückenschmerzen dazu.

Für Patienten, welche aufgrund ihrer Begleiterkrankungen und den vorhandenen Ausschlusskriterien nicht für das Galileotraining geeignet sind, bietet das Beinmuskeltraining eine gute Alternative. Vor allem für Patienten mit Beschwerden des Bewegungsapparates kann das Training mit einem gezielten Beinmuskeltraining unter Anleitung in einer kleinen Gruppe geeigneter sein. Der Trainingsleiter kann auf die Beschwerden und Bedürfnisse jedes einzelnen genau eingehen und entsprechende Übungen abändern.

Die Teilnehmer des Beinmuskeltrainings waren vom Training in den kleinen Gruppen von maximal fünf Personen und dem engen sozialen Kontakt sehr angetan. Sie empfanden es als eine Bereicherung, sich mit anderen Teilnehmern, die unter der gleichen Erkrankung leiden, und über die damit verbundenen Probleme austauschen zu können. Das Beinmuskeltraining kam insoweit einer mentalen Therapie im weiteren Sinne gleich.

### **6.5.2 Vibrationstraining**

Die Ganzkörpervibrationen in dieser Studie wurden durch das Galileotraininggerät erzeugt, welches schon seit einiger Zeit in Gesundheits- und Fitnesszentren sowie im Sport, in der Geriatrie und auch im Rehabilitationsbereich seine Anwendung [48] [77] [99] als eine alternative Methode zur Reduzierung des Körperfettes und zur Steigerung der Muskelmasse und der Muskelkraft findet. [46] [48] Der Einsatz des Galileo-Systems zeigte bisher gute präventive und rehabilitative Erfolge bei Erkrankungen des Bewegungsapparates, bei neurologischen Erkrankungen sowie bei muskulären Defiziten. [76]

Das größte Problem im Zusammenhang mit dem Vibrationstraining stellt die Tatsache dar, dass der exakte Mechanismus, mit dem die Vibrationen die neuromuskuläre Leistung verstärken, bisher noch nicht genau verstanden ist. [47] Hier besteht noch Forschungs- und Erklärungsbedarf. Die durch das Vibrationstraining induzierten Veränderungen im Organismus sind noch nicht geklärt.



Rubin et al. zeigten in einem Versuch mit Mäusen, dass diese, wenn sie dem Vibrationstraining ausgesetzt waren, weniger Fettzellen entwickelten. [100] Dies lässt vermuten, dass Vibrationssignale eher zur Suppression der Adipogenese führen. [100] Sofern sich diese Feststellung auch im menschlichen Körper bestätigen lässt, hätte dies natürlich eine entscheidende Bedeutung für die Lipödemerkrankung.

Es stellt sich die Frage, inwieweit durch das Ganzkörpervibrationstraining Langzeitfolgen bzw. unerwünschte Nebenwirkungen auftreten können. [52] Die Teilnehmer dieser Studie berichteten über folgende, unterschiedlich stark auftretende Nebenwirkungen während bzw. kurz nach dem Training:

- aufsteigendes Kribbeln in den Füßen und den Beinen;
- wärmendes Gefühl in den Fußsohlen;
- aufsteigende Wärme in den Füßen und in den Beinen;
- ziehendes Gefühl im Ober- und Unterschenkel sowie im Gesäß;
- Juckreiz in den Beinen und den Fußsohlen.

Bei den Nennungen der Nebenwirkungen fiel auf, dass verhältnismäßig häufig das kribbelnde Gefühl in den Extremitäten sowie das verspürte Wärmegefühl beschrieben wurden. Das Nachlassen der Symptome während der Trainingszeit der Studie stellte sich bei allen Probanden ein.

Diese Formen der unerwünschten Nebenwirkungen wurden auch durch andere Studien belegt. Zu den unerwünschten Nebenwirkungen des Galileotrainings zählten Juckreiz [52] [77] [100], Erythema [101] (im Kniestrumpfbereich [77]), Ödeme [100] (im Fuß- und Tibiabereich [77]) und Blutdruckabfall. [52] Das Erythem und die Ödeme traten zusammen oder unabhängig voneinander auf, vor allem in der Anfangsphase des Vibrationstrainings und bei Frauen. [77] Der Juckreiz wurde jedes Mal erwähnt, wobei die auftretenden Symptome nach kurzem Laufen schnell verschwanden. [77]

In einer anderen Studie konnte gezeigt werden, dass die Ganzkörpervibrationen Veränderungen in der peripheren Zirkulation induzieren. [101] Es kam zu einer durch die Übungen induzierten Dilatation der kleinen Gefäße, wodurch auch der periphere Widerstand gesenkt wurde. [101] Darüber hinaus konnte belegt werden, dass die muskuläre Blutzirkulation in den Unterschenkeln und den Oberschenkeln signifikant nach den Übungen anstieg. [101] [102] Die genannten Mechanismen können so für einen thermalen Effekt verantwortlich sein und jene induzierte Wärmebildung erklären, die zu einer Förderung der Flexibilität führt. [102]

Weiterhin kann es zur Schmerzzunahme bei aktivierter Arthrose, Entzündungen und muskulotendinösen Reizzuständen kommen. [52] Einige Probanden berichteten über auftretende Knieschmerzen während des Trainings, was auf eine übermäßige Beanspruchung und/oder Muskelaktivität schließen lassen könnte. [103]

Die Wirksamkeit der Ganzkörpervibrationen kann, mangels wissenschaftlicher Informationen [48], zum gegenwärtigen Stand der Forschung nur schwer eingeschätzt werden.[52]

Mit Hilfe dieser Studie konnte gezeigt werden, dass das Training mit Ganzkörpervibrationen eine effiziente Alternative gegenüber einem konventionellen Übungsprogramm darstellt. Das Galileotraining (Vibrationstraining) erweist sich im Vergleich zum Beinmuskeltraining als zeiteffektiver. Mit einem geringen zeitlichen Aufwand von 10-15 min pro Woche (im Vergleich zu 90 min des Beinmuskeltrainings) konnten ähnliche Effekte erreicht werden.

Es gibt zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch keine Studien, die die Anwendung des Vibrationsgerätes im Zusammenhang mit der Lipödemerkrankung untersucht haben.

Rehn et al. wiesen in einer Literaturübersicht nach, dass es gute bis durchschnittliche Belege dafür gibt, dass das Training mit Ganzkörpervibrationen über einen längeren Zeitraum einen positiven Effekt auf die Beinmuskulatur haben könnte. [104] Die meisten Studien untersuchten den Effekt der Ganzkörpervibrationen über einen längeren Zeitraum als eine Woche bei Untrainierten und älteren Frauen. Für diese beiden Gruppen können Ganzkörpervibrationen förderlich sein. [104] Die Effekte der Kurzzeitstudien, bezogen auf die Leistung der Beinmuskulatur durch Ganzkörpervibrationen, erscheinen noch zweifelhaft. [104]

Es gibt eine große Variationsbreite der angewandten Vibrationsparameter. [104] Die in den Langzeitstudien benutzen Frequenzen von 12 bis 45 Hz und von einer Amplitude zwischen 1,7 und 5 mm scheinen gute Kombinationen für muskuläre Langzeitübungen in den Beinen zu sein. [104] Für ältere und untrainierte Probanden stellen 2 bis 5 min pro Woche über einen Zeitraum von elf Wochen ein gutes Übungsprogramm dar. [104] Genau hier lassen sich auch die Parameter dieser Studie einordnen. Sie liegen somit im oben empfohlenen Bereich mit einer angewandten Frequenz von 20 Hz, einer Amplitude zwischen 1 und 4 mm und einer abweichenden Trainingslänge von maximal 11 min pro Woche.

Dennoch gibt es eine große Schwierigkeit bei der Identifizierung der optimalen Vibrationskriterien und der Konzipierung von Übungsprotokollen für das Vibrationsstraining. [47]

Weitere Untersuchungen sind notwendig, um eine optimale Frequenz, Amplitude, Trainingslänge und -dauer zu finden und ein geeignetes Übungsprogramm zu entwickeln. [102] [104] Es gestaltet sich derzeit noch äußerst schwer festzustellen, wann ein Athlet, Patient oder Proband für eine Steigerung der Frequenz und Amplitude oder Positionsänderung auf dem Trainingsgerät bereit ist. [102] Dieses Problem ergab sich auch in dieser Studie, wobei mit Hilfe der RPE-Skala von Borg die wahrgenommene Kraftanstrengung der Probanden dokumentiert wurde und das Training durch eine Veränderung der Trainingslänge und der Übungen angepasst wurde. Wenn das Training jedoch unter nicht einheitlichen Einstellungen der Parameter wie Frequenz, Amplitude und Länge durchgeführt wird, ergäben sich gewisse Schwierigkeiten bei der Interpretation und dem Vergleich der Ergebnisse untereinander.

### **6.6 Einfluss des Vibrationstrainings auf die Veränderung der Körperzusammensetzung**

Derzeit gibt es nur eine kleine Anzahl von Studien, die sich mit der Veränderung der Körperzusammensetzung unter der Anwendung von Ganzkörpervibrationen auseinandersetzen. Unter Berücksichtigung der möglichen Messfehler bei der DXA-Untersuchung ergab sich weder mit dem Vibrationstraining noch mit dem Beinmuskeltraining eine Änderung des Fett- und Magergewebes in den unteren Extremitäten. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich auch in einer Studie von Roelants et al., welche mit 41 untrainierten junge Frauen über einen Zeitraum von sechs Monaten mit drei Trainingseinheiten pro Woche ein Ganzkörpervibrationstraining durchführten und dieses mit einer Kontrollgruppe (eine Gruppe ohne eine Trainingsanwendung) sowie einer Fitnessgruppe verglich. [48] Mit Hilfe der Unterwassermethode wurde die Veränderung der Körperzusammensetzung (Fett- und Magermasse) untersucht. [48] Die Trainingszeit variierte zwischen 3 und 20 min (Erholungszeit zwischen den Einheiten von 5-60 Sekunden) mit einer Amplitude von 2,5 bis 5 mm, einer Frequenz zwischen 35 und 45 Hz und einer sich daraus ergebenden Beschleunigung von 2,28 bis 5,09 g. [48] In der Studie konnten keine signifikante Reduktion des Gewichtes, des Körperfettes bzw. der prozentualen Änderung des Körperfettes oder des Subkutanfettes festgestellt werden. [48] Sowohl das WBV-Training als auch das Fitnessstraining führten zu einer Verbesserung der Muskelkraft, wobei sich auch hier kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen abzeichnete. [48]

Verschueren et al. führten eine Studie mit 70 älteren postmenopausalen Frauen durch (58. bis 74. Lebensjahr) und verteilte sie auf eine Vibrationsgruppe, eine Kontrollgruppe und eine Widerstandstrainingsgruppe. [105]

Diese Probanden trainierten sechs Monate lang dreimal pro Woche bei einer Frequenz von 35 bis 40 Hz mit einer Beschleunigung von 2,28 bis 5,09 g. [105] Die Zunahme der Muskelkraft in der WBV-Gruppe und in der Widerstandstrainingsgruppe (resistance training group, RT-Gruppe) waren in beiden Gruppen ungefähr gleich und mit keinen signifikanten Veränderungen der Magermasse des Körpers verbunden. [105] Jedoch nahm die Gesamtfettmasse signifikant in beiden Gruppen ab (-2,3 % in der WBV-Gruppe und -3,1 % in der RT-Gruppe, Kontrollgruppe +0,5 %). [105] Es scheint, dass physisch inaktive Personen gegenüber physisch aktiven den höchsten Nutzen aus einem über einen längeren Zeitraum durchgeführten Ganzkörpervibrationstraining ziehen. [106] Jedoch wird dem gegenüber vermutet, dass das Fettgewebe eher bei jüngeren als bei älteren Menschen für die Vibrationsstimulationen empfänglich ist. [100]

Fjelstadt et al. führten eine Studie mit 55 postmenopausalen Frauen über einen Zeitraum von acht Monaten (drei Mal Training pro Woche) durch und verglichen hierbei eine Kombination aus Vibrationstraining und Widerstandstraining mit einer reinen Widerstandstrainings- und einer Kontrollgruppe. [100] Bei diesem kombinierten Training konnte das totale Körperfett in % im Vergleich von Prä- und Posttraining signifikant gesenkt werden, wobei beide Trainingsgruppen eine signifikante Zunahme des Magergewebes zeigten. [100] Es wurde gezeigt, dass bei älteren Frauen (60-75 Jahre) nur die Kombination aus Widerstandstraining und Vibrationstraining zu einer effektiven Reduzierung des prozentualen Körperfettes führt. [100] Diese Studie zeigt einen interessanten Ansatz: Vielleicht sollte keine strikte Trennung des Vibrationstrainings und des gymnastischen Beinmuskelübungsprogrammes erfolgen. Möglicherweise würde eine Kombination aus diesen beiden Trainingsmethoden aufgrund der verschiedenen Trainingseffekte zu den besten Ergebnissen führen. Des Weiteren könnte man so die positiven Eigenschaften beider Trainingsformen vereinigen. Einerseits hätte man bei einem zweimaligen Training pro Woche den zeitsparenden Effekt des gezielten passiven, die Beinmuskulatur stärkenden Vibrationstrainings und auf der anderen Seite das sozial ansprechendere, in der Gruppe durchgeführte gymnastische Beinmuskeltraining. Weitere Studien sollten durchgeführt werden, um diesen Aspekt zu untersuchen und diejenigen Veränderungen auszuschließen, die aufgrund von zufälligen oder durch Messfehler beeinflussten Ergebnissen zustande kamen.

Die unterschiedlichen Ergebnisse der aufgeführten Studien zeigen deutlich, dass die Kurz- und Langzeiteffekte der Vibrationen auf die Kraft- und Leistungsentwicklung sowie die Veränderung der Körperzusammensetzung von den angewandten Vibrationskriterien (Anwendung der Methode, der Amplitude und der Frequenz) und dem Übungsprotokoll (Trainingsart, Intensität und Umfang) abhängig sind.

## **6.7 Fragebögen**

### Lymphdrainage und Kompressionsstrümpfe

Die durch die Fragebögen erfasste Häufigkeit der durchgeführten Lymphdrainage, der Tragehäufigkeit und -dauer der Kompressionsstrümpfe sowie des Tragens der Kompressionsstrümpfe zum Training lassen keine Rückschlüsse auf den Erfolg des Trainings zu.

Interessanterweise gaben nur 45 % der Probanden an, eine regelmäßige Lymphdrainagebehandlung zu erhalten, wohingegen aus den Akten der Lipödempatienten hervorging, dass 61 % der Lipödempatienten durch ihre phlebolymphodynamische Insuffizienz eine regelmäßige Behandlung benötigen würden. Einerseits kann das an einer eventuell mangelnden Verschreibungsmöglichkeit der Ärzte liegen, andererseits ist es auch möglich, dass nicht alle Patienten dem Rat der Ärzte folgen oder eine weitere Behandlung für nicht notwendig halten.

11 % der Lipödempatienten besitzen keine Kompressionsstrümpfe; 8 % tragen diese nicht, obwohl sie aus ärztlicher Sicht empfohlen werden. Hier stellt sich somit die Frage, ob es sich um ein mangelndes Befolgen des ärztlichen Rates handelt oder die Kompressionsstrümpfe nicht in jedem Fall regelmäßig verschrieben werden. 56 % der Probanden mit Kompressionsstrümpfen tragen diese über zwölf Stunden an den Tragetagen und 19 % berichteten über eine Tragelänge von acht Stunden (Arbeitstag). Nur 41 % der Probanden tragen ihre Kompressionsstrümpfe täglich und knapp 20 % tragen sie 3-4 mal pro Woche. Es zeigt sich hier deutlich, dass die Compliance der Lipödempatienten nicht dem entspricht, was aus ärztlicher Sicht erwünscht ist. In der Galileogruppe wurden die Kompressionsstrümpfe von 48 % der Probanden während des Trainings getragen. Die mangelnde Compliance der Beinmuskelgruppe mit nur 29 % der Probanden, welche die Kompressionsstrümpfe beim Training trugen, könnte mit der größeren Anstrengung des Beinmuskeltrainings verbunden sein. Die Teilnehmer der Beinmuskelgruppe erfuhren eine stärkere körperliche Belastung und kamen bei dem aktiven Training eher ins Schwitzen, was von den Probanden oft als sehr unangenehm empfunden wurde. Das Tragen der Kompressionsstrümpfe während des Trainings wird jedoch empfohlen.

Mit Hilfe der Kompressionsstrümpfe und im Zusammenhang mit der muskulären Aktivität werden größere Drücke aufgebaut als in Ruhe, im Stehen oder im Liegen [107]. Das Tragen der Kompressionsstrümpfe verlängert die venöse Wiederauffüllzeit statistisch signifikant. [107] Eine Verbesserung der Venenfunktion und eine Verhinderung des venösen Refluxes kann mit dem Verhältnis von Arbeitsanpressdruck und Ruheanpressdruck im Stehen erklärt werden. [107]

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Patienten mit einem Lipolymphödem auf die Therapie der Lymphdrainage und der Kompressionsstrümpfe nicht verzichten können und nur auf dieser Weise eine gewisse Erleichterung erfahren. Patienten mit einem reinen Lipödem können durch das Tragen der Kompressionsstrümpfe eine gewisse Reduzierung der Schmerzen in den Beinen erfahren. Das Tragen der Kompressionsstrümpfe führt zu einer subjektiven Verbesserung der Beschwerden wie Juckreiz, Schwere oder Schmerzen und trägt zur Verbesserung der Mikrozirkulation der Haut bei. [107]

### Familiäre Häufung des Lipödems

Die Befragung zum familiären Auftreten des Lipödems der an dieser Studie beteiligten Lipödempatienten zeigte, dass bei 68 % eine familiäre Häufung zu finden ist. Die Vermutung über die genetische Komponente der Lipödemerkrankung wird durch diese Studie ebenfalls verstärkt. Bei der Untersuchung des Vererbungsprozesses des Lipödems konnte gezeigt werden, dass alle betroffenen Familienmitglieder des weiblichen Trägers im ersten oder zweiten Grad mit dieser Person verwandt waren. [12] Auch in dieser Studie fiel auf, dass nur weibliche Familienmitglieder betroffen waren, zum größeren Teil die weiblichen Familienmitglieder der Mutter.

### Subjektive Einschätzung der Schmerzen, Schwellung, Hämatomneigung, Mobilität

Im nachstehenden Abschnitt erfolgt die Auswertung der subjektiven Befragung in Form der NRS zur Veränderung der Schwellung, Schmerzen, Hämatomneigung und der Mobilität (Laufleistung) im Verlauf der Trainingszeit. Die numerische Schmerzskala wurde erstmals 1947 von Wolff und seinen Kollegen beschrieben. [108] Letztendlich beschäftigten sie sich über viele Jahre mit der Abschätzung der Intensität des Schmerzes in Form einer Skala von 0 bis 10 „plus“, wobei 1+ einen minimalen Schmerz und 10 + den schlimmsten vorstellbaren Schmerz repräsentiert. [108]

Da diese Methode hilfreich für die grobe Abschätzung der relativen Schmerzintensität ist [108], erfolgte die Abwandlung dieser Skala so, dass sie auch zur Bewertung der Schwellung, Hämatomneigung und der Mobilität zum Einsatz kommen konnte.

Standardisierte Fragebögen zur Erfassung der Schwellung, Hämatomneigung und Mobilität gibt es derzeit noch nicht.

### Schwellung

Weder in den einzelnen Gruppen noch im Vergleich der beiden Gruppen untereinander konnte eine signifikante Veränderung der Schwellung in den Beinen festgestellt werden. In beiden Gruppen erfolgte eine geringe Abnahme des Volumens um einen Punkt auf der NRS. Es zeigt sich hierbei eine Diskrepanz zwischen der subjektiv empfundenen geringen Abnahme des Beinvolumens und der objektiv ermittelten Volumenzunahme der Perometermessung. Da die Beurteilungen der Schwellung in den Fragebögen nur sehr geringe Abweichungen zeigten, kann es sich hierbei nur um subjektive und vom Allgemeinbefinden beeinflusste Schwankungen handeln.

Die Befragung zur Stärke der Schwellung zeigte sich konform mit den Feststellungen in anderen Studien, wonach gerade bei einem zusätzlich vorhandenem Lymphödem die Schwellneigung am Abend [11] [30] und unter warmen Temperatureinflüssen am stärksten ist. [9] [28] [29] [30] Das geht auch aus dieser Studie hervor. 31 der insgesamt 37 Probanden (84 %) bewerteten die Schwellung der Beine am Abend als am stärksten. Des Weiteren wird auch die Zunahme der Schwellung der Beine unter warmen Temperatureinflüssen von 30 Probanden (81 %) bestätigt. 21 Probanden (57 %) der Lipödemstudie gaben eine Schwellungszunahme bei langem Sitzen an; 16 Probanden (43 %) empfanden eine Zunahme der Schwellung der Beine bei langem Stehen. Gerade beim langen Stehen und Sitzen fehlt die notwendige Unterstützung durch die aktive Muskelpumpe, um dem venösen Reflux entgegenzuwirken.

### Schmerzen

In der Bewertung der subjektiven Schmerzwahrnehmung konnte weder in den zwei Gruppen noch beim Vergleich der Gruppen untereinander ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Wie schon bei der Befragung zur Schwellung zeigte sich auch hier kein deutlicher Zusammenhang zwischen der gemittelten subjektiven Schmerzempfindung mit Hilfe der NRS und der objektiven Messung der Schmerzen mit dem Dolorimetermessgerät.

Eine signifikante lineare Korrelation zwischen der Dolorimetermessung und der Einschätzung der derzeitigen Schmerzen lässt sich nur in den beiden Trainingsgruppen zum Untersuchungszeitpunkt U2 finden.

Mit Hilfe der Dolorimetermessung konnte eine signifikante Schmerzzunahme in beiden Gruppen festgestellt werden. Jedoch geht diese Änderung nicht aus den Fragebögen hervor. Hier zeigte sich in beiden Gruppen, vor allem kontinuierlich zu allen drei Untersuchungszeitpunkten in der Beinmuskulaturgruppe, eine subjektiv bewertete Zunahme der Schmerzen. Lediglich in der Galileigruppe lässt sich eine zunehmende Druckschmerzschwellenmessung und eine Abnahme der subjektiv gemittelten Schmerzwahrnehmung von der Untersuchung U1 zu U2 finden. Dieser Zusammenhang ließ sich aber nach dem sechswöchigen Training zum Untersuchungszeitpunkt U3 nicht mehr feststellen.

Die Ergebnisse der Probandenbefragung und die Messung des Schmerzempfindens mittels des Dolorimeters unterliegen der subjektiven Wahrnehmung. Das Schmerzempfinden in den Beinen ist sowohl abhängig vom Allgemeinbefinden des Probanden als auch von den äußeren Einflüssen. Es ist zu vermuten, dass das gemessene Schmerzempfinden mit dem Dolorimetermessgerät (Druck von außen) mit dem persönlichen Schmerzempfinden in den Beinen der Studienteilnehmer nur mit gewissen Einschränkungen vergleichbar ist.

Aus der Befragung zur Lokalisation der Schmerzen in den Beinen zu den drei Untersuchungszeitpunkten zeigte sich beim Vergleich der beiden Gruppen untereinander kein signifikanter Unterschied. Jedoch konnte in der Galileigruppe eine signifikante Zunahme der Schmerzen in den Knien beobachtet werden. Die Kniebeschwerden lassen sich dadurch erklären, dass beim Vibrationstraining auf dem Galileogerät eine leicht gebeugte Haltung in den Knien eingenommen wird, um die Fortleitung der Vibrationen in den Kopfbereich abzufedern. Es erfolgte so eine konstante Mehrbelastung der Knie. Die Kniebeschwerden zählen derzeit noch nicht zu den Ausschlusskriterien für die Anwendung des Galileogerätes. Dies sollte überdacht werden, da auch schon andere Studien auf diese Problematik hingewiesen haben (siehe 6.5.2).

Die Schmerzen in den Unterschenkeln konnten durch das Vibrationstraining signifikant gesenkt werden. Von den ursprünglich an Schmerzen in den Unterschenkeln leidenden zwölf Probanden klagten zur Untersuchung U2 nur noch vier Probanden. Es fällt auf, dass nach Beendigung des Trainings die Beschwerden in den Unterschenkeln und im Oberschenkel wieder zunahmten und in den Knien wieder abnahmen.



Im Gegensatz zur Galileogruppe konnte in der Befragung der Beinmuskelgruppe keine signifikante Schmerzabnahme in den Bereichen des Beines festgestellt werden. Dennoch ließ sich ein abnehmender Trend der Schmerzen in den unteren Extremitäten feststellen, vor allem in den ersten sechs Wochen. Bei den sechs Probanden, welche unter Oberschenkelschmerzen zur Untersuchung U1 litten, führte das Beinmuskeltraining bei 50 % zu einer Linderung der Schmerzen.

Des Weiteren berichteten zum Untersuchungszeitpunkt U3 zwei Probanden weniger über Schmerzen in den Füßen und den Unterschenkeln und vier Probanden über verringerte Schmerzen im Rücken.

Es zeigte sich deutlich und bedarf weiterer Untersuchungen, dass das Galileotraining nicht für Patienten mit Beschwerden des Bewegungsapparates geeignet zu sein scheint, vor allem bei bestehenden Kniebeschwerden. Auf der anderen Seite lässt sich festhalten, dass das Galileotraining im Vergleich zum Beinmuskeltraining als ein zeiteffektiveres Training in Bezug auf die Schmerzreduktion angesehen werden kann, da mit dem Galileotraining in der Hälfte der Zeit eine Abnahme der Schmerzen in den Beinen erfolgte.

Bei der Auswertung des Fragebogens, wann die Lipödempatienten unter ihren Schmerzen am meisten leiden, fällt auf, dass auch hier beide Gruppen, wie schon bei der Bewertung der Schwellung der Beine, die warmen Temperatureinflüsse als größte Belastung ansehen.

Des Weiteren klagte die Mehrzahl der Probanden beider Gruppen über Schmerzen in Ruhe und/oder in Bewegung und weniger über Schmerzen bei Druck. Es ist zu beachten, dass nach den ersten sechs Wochen Training in der Galileogruppe die Wahrnehmung der Schmerzen in Ruhe um 50 % gesenkt werden konnte. Im Gegensatz dazu scheint das Training der Beinmuskelgruppe weder auf die Linderung der Schmerzwahrnehmung in Ruhe noch auf die Senkung der Schmerzen in Bewegung Einfluss zu nehmen. In der Beinmuskelgruppe zeichneten sich, abgesehen von normalen Schwankungen, keine großen Änderungen ab. In der Galileogruppe ließ sich feststellen, dass im Zeitraum des Trainings die Schmerzen unter warmen Temperatureinflüssen um ca. 30 % gesenkt werden konnten. Die Ursachen für diese Veränderungen sind fraglich, da die Prozesse des Vibrationstrainings noch nicht ausreichend verstanden werden.

### Hämatomneigung

Es ist bekannt, dass die Lipödempatienten vermehrt zur Ausbildung von Hämatomen neigen. Bei der Befragung zur subjektiven Einschätzung der Veränderung der Hämatomneigung unter dem Training ergab sich in der Beinmuskelgruppe während des Trainingszeitraumes der Studie keine Änderung. Daraus lässt sich schließen, dass das Beinmuskeltraining in dem Zeitraum von zwölf Wochen zu keiner subjektiven Veränderung der Hämatomneigung führte. Es ist jedoch fraglich, ob sich eine Änderung über einen längeren Trainingszeitraum ergeben hätte. Im Gegensatz zur Beinmuskelgruppe zeigte sich in der Galileogruppe eine signifikante Veränderung, sowohl innerhalb der Gruppe als auch im Vergleich der beiden Gruppen untereinander zum Untersuchungszeitpunkt U3.

Es fällt auf, dass die Abnahme der Hämatomneigung in der Galileogruppe erst nach der sechswöchigen trainingsfreien Zeit einsetzte. Es stellt sich hierbei die Frage, wie das Vibrationstraining im Gewebe der Beine eine Senkung der Gefäßfragilität herbeiführte und ob es sich bei diesem Prozess um eine andauernde Veränderung handelt.

### Mobilität

Die subjektive Einschätzung der Mobilität der Probanden, bezogen auf die Laufstreckenlänge und die Ausdauer beim Laufen, erfolgte zu den entsprechenden Untersuchungszeitpunkten mit Hilfe des abgewandelten NRS. In der Beinmuskelgruppe zeigte sich eine Verbesserung der Einschätzung der Mobilität erst am Ende des zwölfwöchigen Trainings. Hier konnte der Median von anfänglich 6 auf 7,5 Punkte angehoben werden. Jedoch zeichnete sich auch hier ab, dass ähnliche Ergebnisse in einer kürzeren Zeit mit der Galileogruppe erreicht werden können. Fraglich ist nur, inwiefern es sich dabei auch um andauernde Effekte handelt. Der gemittelte Median der Galileogruppe konnte vom Untersuchungszeitpunkt U1 zu U2 um 2 Punkte angehoben werden. Zusätzlich zeigte sich auch in der trainingsfreien Zeit eine weitere Anhebung um einen Punkt. Die subjektive Bewertung der Mobilitätssteigerung sollte kritisch beurteilt werden. Auch hier zeichnet sich eine Diskrepanz zwischen der subjektiven Einschätzung und den Leistungen im Gehstest ab. Die Ergebnisse des Gehstests zeigen eher in der Beinmuskelgruppe eine Verbesserung der Laufleistung als in der Galileogruppe.

### Sportliche Aktivität

Im Hinblick auf die regelmäßige sportliche Aktivität der beiden Gruppen zu Studienbeginn ließ sich kein beachtlicher Unterschied zwischen den Gruppen finden. Ein Viertel der Beinmuskelgruppe treibt 3 bis 4 mal pro Woche Sport. In der Galileogruppe bewegen sich dafür 35 % 2 bis 3 mal pro Woche regelmäßig. 56 % der Probanden der Beinmuskelgruppe treiben regelmäßig Sport mit einer Trainingslänge von ein bis zwei Stunden. In der Galileogruppe fällt die sportliche Aktivität bei 36 % der Probanden mit 30 bis 60 min kürzer aus. In der Beinmuskelgruppe gaben 44 % an, keinen Sport zu treiben, wobei dies 14 % mehr waren als in der Galileogruppe. Insgesamt waren 34 % der Probanden zu Studienbeginn nicht regelmäßig sportlich aktiv. Allerdings gaben 40 % an, dass die Studie sie sehr dazu motiviere, wieder Sport zu treiben. Gerade bei der Lipödemerkrankung ist die regelmäßige Bewegung sehr wichtig, denn ohne die notwendige Behandlung und eine diätische wie sportliche Betreuung kann diese Erkrankung schnell zu einer ernsthaften Immobilität mit einer unaufhaltsamen lymphatischen und venösen Insuffizienz führen [17]

„Es gibt kein Medikament, das so viele erwünschte Wirkungen hat und so wenige Nebenwirkungen wie Bewegung. Das Medikament Bewegung hat einen großen Nachteil! Es muss vom Patienten selbst aktiv mit einiger Mühe hergestellt werden.“  
Paul Haber (Internist, Wien) [52]

### Trainingsbewertung

Ein Vergleich der Bewertung des Anstrengungsempfindens des Trainings auf der Skala von Borg zwischen den beiden Trainingsgruppen ergibt, dass 63 % der Galileogruppe das Training auf dem Galileogerät als „etwas anstrengend“ oder „sehr anstrengend“ bewerteten. Im Gegensatz dazu bewerteten ca. 70 % der Teilnehmer des Beinmuskeltrainings die Übungen als „etwas anstrengend“ oder „sehr anstrengend“. Die Bewertung des Anstrengungsempfindens der beiden Gruppen zeigt deutlich, dass das passive Muskeltraining auf dem Galileogerät insgesamt als leichter empfunden wurde als das aktive Übungsprogramm der Beinmuskelgruppe.

In beiden Trainingsgruppen bewerteten ca. 76 % der Teilnehmer die Schwierigkeit des Trainings mit „genau richtig“, wodurch das Ziel der Trainingsprogramme als erreicht betrachtet werden kann.

Beim Vergleich der Bewertung des Trainingserfolges schätzte die Galileogruppe den Gesamteffekt des Trainings um zwei Punkte höher ein als die Beinmuskelgruppe. Dies könnte sich damit erklären lassen, dass die Druckschmerzschwellenmessung der Galileotraininggruppe schon in den ersten sechs Wochen des Trainings signifikant auf ein Niveau gesenkt werden konnte, welches in der Beinmuskelgruppe erst nach zwölf Wochen erreicht wurde. Des Weiteren erfolgten in der Galileogruppe eine signifikante subjektiv eingeschätzte Senkung der Hämatomeigung sowie auch eine signifikante subjektive Abnahme der Schmerzen in den Unterschenkeln. Weiterhin handelte es sich bei dem Galileogerät um eine neue Trainingsmethode. Es ist ja bekannt, dass der Glaube „Berge versetzen kann“ – hier der Glaube an eine neue und besserer Methode.

53 % der Beinmuskelgruppe äußerten, dass sie durch die Teilnahme an der Studie sehr motiviert wurden, wieder Sport zu treiben; dagegen wurden nur 29 % der Galileogruppe dazu angeregt. Des Weiteren waren 62 % der Galileogruppe der Meinung, dass das Training sie mäßig motiviert habe wieder Sport zu treiben. Das verdeutlicht, dass das Galileotraining als ein passives Training bewertet werden muss, bei dem die Eigenleistung des Teilnehmers minimal ist.

Das Beinmuskeltraining zeichnete sich eher durch eine sportliche Betätigung aus und ist daher mit einem Sportprogramm zu vergleichen, welches die Teilnehmer der Beinmuskelgruppe stärker motivierte mehr für ihre Gesundheit zu tun.

Zu je 48 % waren die Galileogruppenteilnehmer der Meinung, dass die Studie zu einer mäßigen bzw. sehr großen Steigerung ihres Wohlbefindens beigetragen hat. Jedoch bewerteten nur halb so viele aus der Beinmuskelgruppe die Steigerung des Wohlbefindens mit „sehr gut“ und 47 % nahmen eine mäßige Steigerung ihres Wohlbefindens wahr.

Es ist fraglich, inwiefern sich die Erwartungshaltungen in den beiden Gruppen unterschieden haben. Da es sich bei dem Galileotraininggerät um eine neue Trainingsmethode handelte und der Aufwand für die Teilnehmer relativ gering war, gingen die Teilnehmer unter Umständen mit geringeren Erwartungen an diese neue Art des passiven Trainings heran. Des Weiteren könnte die Bewertung des Galileotrainings auch durch einen anhaltenden positiven Effekt beeinflusst worden sein, da die Galileogruppe das Training nur für sechs Wochen absolvierte und die Befragungen erst nach Ablauf der zwölften Woche erfolgte. Darüber hinaus wird vermutet, dass die Teilnehmer der Gymnastikgruppe gegenüber der Galileogruppe eine höhere Erwartung an den Trainingserfolg stellten.

Das Beinmuskelttraining zeichnete sich durch ein umfangreicheres und längeres Trainingsvolumen, verbunden mit größeren körperlichen Anstrengungen, und einen höheren zeitlichen Aufwand aus.

## **6.8 Studiendesign**

Diese Studie wurde konzipiert, um den Einfluss eines gezielten Trainings der Beine durch ein gymnastisches Übungsprogramm und ein Vibrationstraining hinsichtlich des Effektes auf die Senkung der Schmerzempfindlichkeit und der Senkung des Volumens zu beurteilen und zu vergleichen.

Es handelt sich bei dieser Studie um eine Pilotstudie. Die Interpretation der Ergebnisse und deren Rückschlüsse auf die Gesamtheit sind daher nur begrenzt möglich. Die Untersuchung in einer größer angelegten Studie mit einer Fallzahl von 100 Probanden, unter der Berücksichtigung der hier erlangten Erkenntnisse, würde Veränderung erst als repräsentativ und damit bedeutsam erscheinen lassen.

In der Studie wurde den zwei Trainingsgruppen keine Kontrollgruppe gegenübergestellt. Da keine Kontrollgruppe vorliegt, ist es fraglich, ob die entstandenen Veränderungen auch durch normale Fluktuationen hervorgerufen worden wären. Eine objektive Beurteilung der Ergebnisse der Studie ist daher nicht hinreichend möglich.

Weiter erfolgten die Untersuchungen nie zur selben Tageszeit. Dies war bezüglich der Organisation und der zeitlichen Möglichkeit der Studienteilnehmer nicht durchführbar. In Bezug auf die zirkadianen Schwankungen der Schmerzwahrnehmung mit dem Höhepunkt der relativen Schmerzempfindlichkeit zwischen 12 und 18 Uhr [109] sowie dem Schwellungsmaximum der Beine am Abend wäre eine einheitliche zeitliche Durchführung der Untersuchung aller Probanden jedoch wünschenswert gewesen.

Des Weiteren erfolgte die Durchführung des Trainings über einen Zeitraum von fast fünf Monaten (Februar bis Juni). Die damit einhergehenden jahreszeitlichen Temperaturschwankungen beeinflussen hierbei unter anderem das Volumen der Beine. Jedoch waren beide Trainingsgruppen gleichermaßen davon betroffen. Die Trainingsdurchführung beider Gruppen wurde in je zwei Trainingsphasen in diesem Trainingszeitfenster aufgeteilt.

Trotz der erfolgten Randomisierung zeigten sich signifikante Unterschiede im Alter und der Größe der beiden Trainingsgruppen. Zusammenfassend waren die Probanden der Galileogruppe im Durchschnitt 6,8 Jahre jünger und um 4 cm größer. Dennoch ließ sich für beide Gruppen ein annähernd gleicher BMI und FMI berechnen. Eine Beeinflussung der Studienergebnisse durch diese ungleiche Verteilung in den beiden Gruppen kann somit außer Acht gelassen werden.

Die Studienlänge von zwölf Wochen orientierte sich an anderen wissenschaftlich durchgeführten Sportprogrammen. Ein längerer Studienzeitraum ist oftmals durch den Alltag der Probanden schwer zu realisieren. Dennoch lässt sich vermuten, dass eine längere Studiendauer die Ergebnisse verdeutlichen könnte. In Bezug auf die Veränderung der Ganzkörperzusammensetzung im Zusammenhang mit einem Training scheinen gemäß anderer Studien erst nach mehreren Monaten nennenswerte Änderungen des Mager- und Fettgewebes deutlich zu werden. [48]

Dennoch sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass es sich bei dieser Studie um eine Pilotstudie handelt. Es gibt bisher noch keine Studie, welche sich mit der Bewegungstherapie des Lipödems auseinandergesetzt hat. Weiterhin wurden in dieser Studie viele Parameter des Lipödems, bestehend aus Leidensdruck, verkannter Diagnose, Motivierbarkeit und Trainingsmöglichkeiten erstmalig so zusammenfassend beleuchtet.

## **7. Zusammenfassung und Ausblick**

Die Medizin kennt verschiedene Fettverteilungsstörungen. Das Lipödem zählt dabei zu einer der seltenen symmetrischen Fettverteilungsstörungen und wurde erstmals durch Allen und Hines 1940 beschrieben. Es handelt sich um eine pathologische progrediente Vermehrung des Unterhautfettgewebes in den Beinen und im Gesäß. Mit einigen Ausnahmen sind von dieser Erkrankung ausschließlich Frauen betroffen, mit einer Krankheitsausprägung vor allem während der Pubertät. Die Patienten leiden unter starkem Ruhe- und Druckschmerz in den Beinen, neigen vermehrt zu Hämatomen und können im späteren Verlauf infolge der durch die Erkrankung hervorgerufenen Funktionsminderung des Lymphsystems zusätzlich ein Lymphödem in den unteren Extremitäten entwickeln. Als ätiologische Faktoren des Lipödems werden neben hormonellen Einflüssen auch Möglichkeiten einer autosomal-dominanten Vererbung mit Geschlechtslimitierung diskutiert. 68 % der Probanden dieser Studie gaben eine familiäre Häufung an, welche diesen genetischen Zusammenhang verdeutlicht.

Eine Reduzierung des Fettgewebes kann nicht mit einer Diät erreicht werden. Neben dem Tragen von Kompressionsstrümpfen, der manuellen Lymphdrainage und der kontrovers diskutierten Liposuktion gibt es derzeit noch keine effizienteren Therapiemaßnahmen. Aufgrund der psychischen Belastung der Patienten durch das „entstellte“ Aussehen und die möglichen Bewegungseinschränkungen werden Sportangebote nur selten wahrgenommen. Bei der Lipödemerkrankung ist es daher besonders wichtig prophylaktische Maßnahmen zu ergreifen, um der Ausbildung einer Adipositas, dem Fortschreiten eines sekundären Lymphödems und der Zunahme der Beschwerden (vor allem den Schmerzen in den Beinen) entgegenzuwirken und so die Lebensqualität zu verbessern.

Bisher existiert noch keine Studie, die sich mit neuen Behandlungsmöglichkeiten des Lipödems in Form eines gezielten Trainingsprogrammes auseinandersetzt. Die hier vorliegende prospektive randomisierte klinische Pilotstudie verfolgte über einen Zeitraum von zwölf Wochen das Ziel, zwei Trainingsmethoden in Bezug auf ihre Effektivität sowie vor allem die Reduktion der Schmerzen und des Volumens in den Beinen der Lipödempatienten zu untersuchen. Die 50 Probanden im Alter von 18 bis 60 Jahren (Altersdurchschnitt 46 Jahre, BMI gemittelt 31 kg/m<sup>2</sup>) wurden zu je 25 Probanden auf ein gymnastisches Übungsprogramm für die Beine (Beinmuskelgruppe) und ein Vibrationstraining auf dem Galileogerät (Galileogruppe) aufgeteilt. Zum Studienende befanden sich 17 Probanden in der Beinmuskelgruppe und 21 in der Galileogruppe.

Die Galileogruppe erhielt in den ersten sechs Wochen ein Training von zwei Einheiten pro Woche mit maximal 5 ½ min, einer Frequenz von 20 Hz und einer Amplitude zwischen 2 und 4 mm, gefolgt von sechs trainingsfreien Wochen. Auf dem Vibrationsgerät wurden sowohl statische als auch dynamische Übungen, den physischen Fähigkeiten der Teilnehmer entsprechend, durchgeführt. Das gymnastische Übungsprogramm zur Aktivierung der Beinmuskelpumpe erfolgte in den ersten sechs Wochen zweimal pro Woche in der Klinik in kleinen Gruppen von fünf Probanden. Eine Trainingseinheit dauerte dabei je 45 min. Nach dieser Zeit folgte zu Hause eine Fortsetzung des Trainings für weitere sechs Wochen. Das Ziel eines ausgeglichen Trainingsprogrammes mit der Bewertung des Trainings als „genau richtig“ wurde von 76 % der Probanden bestätigt.

Die Untersuchungen erfolgten vor dem Trainingsbeginn (U1), nach den ersten sechs Wochen (U2) und am Ende der zwölf Wochen (U3) und bestanden aus dem Sechs-Minuten-Gehtest (6MWT), der Perometermessung (Volumenmessung), der Dolorimetermessung (Druckschmerzschwellenmessung) sowie der DXA (Messung der Körperzusammensetzung). Mit Fragebögen wurde die Bewertung des Trainings und die subjektive Einschätzung der Schmerzen, Schwellung, Hämatomneigung sowie der Mobilität der Probanden ermittelt.

Die vorliegende Studie ist die erste, die zur Weiterentwicklung der Therapiemöglichkeiten in Form eines Trainingsprogrammes zur Behandlung des Lipödems beiträgt. Es konnte gezeigt werden, dass ein Vibrationstraining auf dem Galileogerät in einem Trainingszeitraum von sechs Wochen zu einer signifikanten Senkung der Schmerzen in den Beinen führt, die zwar ebenfalls über ein herkömmliches Beinmuskeltraining erreicht werden kann, jedoch in einem doppelt so langen Zeitraum (zwölf Wochen). Des Weiteren ließ sich aus den Fragebögen der Galileogruppe eine starke Abnahme der Schmerzen in Ruhe und in Bewegung sowie eine signifikante subjektive Reduzierung der Hämatomneigung und der Schmerzen im Unterschenkel ermitteln. Bei 46 % der Teilnehmer der Galileogruppe trug die Studie so zu einer Steigerung des Wohlbefindens bei. Die Erfolge eines aktiven Übungsprogrammes in Form des Beinmuskeltrainings zur Steigerung der Ausdauer und der körperlichen Ertüchtigung sowie der Möglichkeiten des sozialen Austausches sollten jedoch nicht außer Acht gelassen werden. In der Beinmuskelgruppe konnte eine stetige Abnahme der Schmerzen im Rücken, im Ober- und Unterschenkel sowie in den Füßen beobachtet werden. Darüber hinaus wurden 50 % der Beinmuskelgruppe durch das Training im Zusammenhang mit dieser Studie wieder motiviert, regelmäßig Sport zu treiben.



Weder mit dem Beinmuskeltraining noch mit dem Galileotraining konnte allerdings eine signifikante Volumenreduktion erzielt werden. Demgegenüber zeigte sich beim Vibrations-training eine signifikante Volumenzunahme. Interessanterweise wurden oftmals widersprüchliche Ergebnisse beim Vergleich der subjektiven Einschätzungen der Schwellung und Schmerzen in den Beinen mit den entsprechenden apparativen Messungen erzielt. Messungenauigkeiten, psychosoziale Faktoren sowie tageszeitliche Schwanken können die Resultate beeinflusst haben. Weitere Studien sind notwendig, um die signifikante Volumenzunahme der Beine sowie die subjektive signifikante Schmerzzunahme im Kniebereich während des Vibrationstrainings zu analysieren. Signifikante Änderungen der Körperzusammensetzung in Bezug auf das Mager- und Fettgewebe blieben in beiden Gruppen aus. Die geringe Zunahme des Magergewebes um ca. 0,15 kg kann durch Messungenauigkeiten erklärt werden, ebenso die Abnahme des Fettgewebes um 0,43 kg im Zusammenhang mit der möglichen Hydratation im Fettgewebe. Eine größer angelegte Studie mit einer längeren Studiendauer könnte helfen, die in dieser Studie aufgezeigten Änderungen zu verdeutlichen. Die Laufleistung im 6MWT konnte im Studienverlauf in keiner der beiden Trainingsgruppen signifikant gesteigert werden. Bei verhältnismäßig guten Ausgangswerten beider Gruppen mit 120-160 m oberhalb der berechneten Mindestgehstrecke nach Enright und Sherill zeigte sich lediglich in der Beinmuskelgruppe eine Steigerung der Laufstrecke um 40 m.

Die vorliegende Studie zeigt deutlich, dass eine regelmäßige Bewegung im Zusammenhang mit der Lipödemerkrankung eine wichtige Therapieform darstellt. Mit Hilfe eines gezielten Übungsprogrammes der Beine kann vor allem eine Reduzierung der Schmerzen der Lipödempatienten erzielt werden, wobei das Vibrationstraining sich hierbei als eine zeiteffizientere Form des Beintrainings herausstellte.

Im Hinblick auf die Therapiemöglichkeiten des Lipödems besteht weiterhin großer Forschungsbedarf. Im Interesse der am Lipödem erkrankten Patienten wäre es wünschenswert, in einer umfangreicher angelegten Studie mit größeren Patientenzahlen und einer längeren Trainingszeit an die in dieser Studie erlangten Erkenntnisse und Resultate anzuknüpfen. Die Behandlungsmöglichkeiten des Lipödems könnten so in Zukunft weiter ausgebaut werden und zu einer Verbesserung der Lebensqualität der Lipödempatienten beitragen. Jenseits dieses Forschungsansatzes gilt freilich, dass die Kenntnis des genauen Entwicklungsprozesses dieser Erkrankung die Suche nach einer effektiven Therapiemaßnahme erleichtern könnte.

**Literaturverzeichnis**

1. Fife CE, Maus EA, Carter MJ. Lipedema: a frequently misdiagnosed and misunderstood fatty deposition syndrome. *Adv Skin Wound Care* 2010;23(2):81-92
2. Williams CM. Lipid metabolism in women. *Proc Nutr Soc* 2004;63(1):153-160
3. Power ML, Schulkin J. Sex differences in fat storage, fat metabolism, and the health risks from obesity: possible evolutionary origins. *Br J Nutr* 2008;99(5):931-940
4. Radhakrishnan K, Rockson SG. The clinical spectrum of lymphatic disease. *Ann N Y Acad Sci* 2008;1131:155-184
5. Meier-Vollrath I., W. S. Lipödem-Aktuelles zu einem weitgehend unbekanntem Krankheitsbild. In, *Akt Dermatol Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag KG* 2007:251-260
6. Fonder MA, Loveless JW, Lazarus GS. Lipedema, a frequently unrecognized problem. *J Am Acad Dermatol* 2007;57:S1-3
7. Taylor NE, Foster WC, Wick MR, Patterson JW. Tumefactive lipedema with pseudoxanthoma elasticum-like microscopic changes. *J Cutan Pathol* 2004;31(2):205-209
8. Meier-Vollrath I., Schneider W., Schmeller W. Lipödem: Verbesserte Lebensqualität durch Therapiekombination. In, *Deutsche Ärzteblatt. Lübeck: Deutsche Ärzteblatt;* 2005:1061-1067
9. Langendoen SI, Habbema L, Nijsten TE, Neumann HA. Lipoedema: from clinical presentation to therapy. A review of the literature. *Br J Dermatol* 2009; 161(5):980-986
10. Herpertz U. Die häufigsten Beinödeme-Differenzierung zwischen Phlebödem, Lymphödem und Lipödem. *Phlebologie* 2001;30(2):48-52
11. Cornely Manuel E. Lipedema and lymphatic edema. In: Shiffman Melvin A, Giuseppe Alberto eds, *Liposuction principles and practice*. 18 ed. Düsseldorf: Verlag Springer Berlin Heidelberg; 2006
12. Child AH, Gordon KD, Sharpe P, et al. Lipedema: an inherited condition. *Am J Med Genet* 2010;152A(4):970-976.
13. Suga H, Araki J, Aoi N, et al. Adipose tissue remodeling in lipedema: adipocyte death and concurrent regeneration. *J Cutan Pathol* 2009;36(12):1293-1298
14. Stutz JJ, Krahl D. Water jet-assisted liposuction for patients with lipoedema: histologic and immunohistologic analysis of the aspirates of 30 lipoedema patients. *Aesthetic Plast Surg* 2008;33(2):153-162
15. Amann-Vesti BR, Franzeck UK, Bollinger A. Microlymphatic aneurysms in patients with lipedema. *Lymphology* 2001;34:170-175
16. Harwood CA, Bull RH, Evans J, Mortimer PS. Lymphatic and venous function in lipoedema. *Br J Dermatol* 1996;134(1):1-6
17. Szolnok G, Nagy N, Kovács RK, et al. Complex decongestive physiotherapy decreases capillary fragility in lipedema. *Lymphology* 2008 41(4):161-166

18. Schmeller W, Meier-Vollrath I. Lipödem- Moderne Diagnostik und Therapie. *Gefäßchirurgie* 2009;14(6):516-522
19. Perez JA, van Tetering JP. Ultrasound-assisted lipoplasty: a review of over 350 consecutive cases using a two-stage technique. *Aesthetic Plast Surg* 2003 27(1):68-76
20. Siems W, Grune T, Voss P, Brenke R. Anti-fibrosclerotic effects of shock wave therapy in lipedema and cellulite. *Biofactors* 2005;24:275-282
21. Lohrmann C, Foeldi E, Langer M. MR imaging of the lymphatic system in patients with lipedema and lipo-lymphedema. *Microvasc Res* 2009;77(3):335-339
22. Herpertz U. Das Lipödem. *Lymphology* 1995;19(1):1-11
23. Trayhurn P, Wang B, Wood IS. Hypoxia in adipose tissue: a basis for the dysregulation of tissue function in obesity? . *Br J Nutr* 2008;100(2):227-235.
24. Trayhurn P. Adipose tissue in obesity--an inflammatory issue. *Endocrinology* 2005;146(3):1003-1005
25. Stallworth JM, Hennigar GR, Jonsson HT Jr, Rodriguez O. The chronically swollen painful extremity A detailed study for possible etiological factors. *JAMA* 1974;228(13):1656-1659
26. Allen EU, Hines EA. Lipedema of the legs: A syndrome characterized by fat legs and orthostatic edema. In. *Minnesota: Proc Staff Mayo Clin* 1940;15:184-187
27. Rudkin GH, Miller TA. Lipedema: a clinical entity distinct from lymphedema. *Plast Reconstr Surg* 1994;94:841-847; discussion 848-849
28. Warren AG, Janz BA, Borud LJ, Slavin SA. Evaluation and management of the fat leg syndrome. *Plast Reconstr Surg* 2007;119:9e-15e
29. Bilancini S, Lucchi M, Tucci S, Eleuteri P. Functional lymphatic alterations in patients suffering from lipedema. *Angiology* 1995;46(4):333-339
30. Wold LE, Hines EA Jr, Allen EV. Lipedema of the legs; a syndrome characterized by fat legs and edema. *Ann Intern Med* 1951;34(5):1243-1250
31. Marshall M, Schwahn-Schreiber C. Lymph-, Lip- und Phlebödem- Differenzialdiagnostische Abklärung mittels hochauflösender Duplexsonographie. *Gefäßchirurgie* 2008;13(3):204-212
32. Wienert V, Leemann S. Das Lipödem. *Der Hautarzt* 1991;42(8)
33. Schmeller W, Meier-Vollrath I. Erfolgreiche operative Therapie des Lipödems mittels Liposuktion. *Phlebologie* 2004;33(1):35-41
34. Macdonald JM, Sims N, Mayrovitz HN. Lymphedema, lipedema, and the open wound: the role of compression therapy. *Surg Clin North Am* 2003;83:639-658
35. Beninson J, Edelglass JW. Lipedema--the non-lymphatic masquerader. *Angiology* 1984;35(8):506-510
36. Weissleder H., Brauer W.J., Schuchhardt C., Herpertz U. Aussagewert der Funktions-Lymphszintigraphie und indirekten Lymphangiographie beim Lipödem-Syndrom. *Lymphology* 1995;19(2):38-41

37. Bringezu G., Schreiner O. eds. Lehrbuch der Entstauungstherapie 2. Auflage ed. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg Verlag; 2006:218-223
38. Hödl S. Erkrankungen des Fettgewebes. In, Dermatologie und Venerologie Verlag Springer Berlin Heidelberg; 2005:1008-1024
39. Altmeyer P. Therapielexikon Dermatologie und Allergologie -Therapie kompakt von A-Z: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2005:519-520
40. Bruns F, Büntzel J. Lymphödem: Therapie. In: Onkodin; 25.01.2006: (02.06.2011, [http://www.onkodin.de/e2016/e38842/e40072/e40106/index\\_ger.html](http://www.onkodin.de/e2016/e38842/e40072/e40106/index_ger.html))
41. Wienert V., Földi E., Schmeller W., E. R. Lipödem der Beine. In, Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Phlebologie AWMF online 2004: (28.01.2010 <http://www.uni-duesseldorf.de/AWMF/II/2037-2012.htm>)
42. Yoshimura K, Shigeura T, Matsumoto D, et al. Characterization of freshly isolated and cultured cells derived from the fatty and fluid portions of liposuction aspirates. J Cell Physiol 2006 208(1):64-76
43. Hoffmann JN, Fertmann JP, Baumeister RG, Putz R, Frick A. Tumescence and dry liposuction of lower extremities: differences in lymph vessel injury. Plast Reconstr Surg 2004;113(2):718-724
44. Commons GW, Halperin B, Chang CC. Large-volume liposuction: a review of 631 consecutive cases over 12 years. Plast Reconstr Surg 2001;108(6):1753-1763
45. Rao RB, Ely SF, Hoffman RS. Deaths related to liposuction. N Engl J Med 1999 340(19):1471-1475
46. Cardinale M, Bosco C. The use of vibration as an exercise intervention. Exerc Sport Sci Rev 2003;31:3-7
47. Luo J, McNamara B, Moran K. The use of vibration training to enhance muscle strength and power. Sports Med 2005;35:23-41
48. Roelants M, Delecluse C, Goris M, Verschueren S. Effects of 24 weeks of whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females. Int J Sports Med 2004;25:1-5
49. Schmidt R.F, Thews G. Physiologie des Menschen. 27. ed: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 1997:67-80,97-105
50. Shinohara M. Effects of prolonged vibration on motor unit activity and motor performance. Med Sci Sports Exerc 2005;37(12):2120-2125
51. Hänsenberger U. Nazarov Stimulation (BMS-biochemische Stimulation). In. Oberuzwil, Schweiz: Nazarov Institut,CH-General Vertretung & Schweizerisches Schulcenter für Nazarov Stimulation (Biomechanische Stimulation); 2006: (22.06.2010, <http://www.nazarov-institut.ch/nazarov/default.htm>)
52. Mayr H, Ammer K. Ganzkörpervibrationen (GKV)-Methoden und Indikationen - eine Literaturübersicht. ÖZPMR-ÖsterrZPhysMedRehabil 2007;17(1):12-22
53. Kelly TL, Wilson KE, SB H. Dual energy X-Ray absorptiometry body composition reference values from NHANES. 2009;4(9):e7038

54. Bautmans I, Lambert M, Mets T. The six-minute walk test in community dwelling elderly: influence of health status. *BMC Geriatr* 2004;4:6
55. Steffen TM, Hacker TA, Mollinger L. Age- and gender-related test performance in community-dwelling elderly people: Six-Minute Walk Test, Berg Balance Scale, Timed Up & Go Test, and gait speeds. *Phys Ther* 2002;82:128-137
56. Ozalevli S, Ozden A, Itil O, Akkoçlu A. Comparison of the Sit-to-Stand Test with 6 min walk test in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Med* 2007;101:286-293
57. ATS Committee. ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;166(1):111-117
58. Fischer AA. Pressure algometry over normal muscles. Standard values, validity and reproducibility of pressure threshold. *Pain* 1987;30(1):115-126
59. Nussbaum EL, Downes L. Reliability of clinical pressure-pain algometric measurements obtained on consecutive days. *Phys Ther* 1998 (2):160-169
60. Prof. Dr. Chr. Wüster IME, Univ. Heidelberg Dual - Röntgen - Absorptiometrie (DXA) In. D-55116 Mainz arewus GmbH-Kompetenz&Technologie in der Ostologie: (26.01.2010, <http://www.arewus.de/DXAPrinzip.pdf>)
61. Albanese CV, Diessel E, Genant HK. Clinical applications of body composition measurements using DXA. *J Clin Densitom* 2003 6(2):75-85
62. Lee SY, Gallagher D. Assessment methods in human body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2008;11:566-572
63. Pietrobelli A, Wang Z, SB H. Techniques used in measuring human body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 1998;1:439-448
64. Prior BM, Cureton KJ, Modlesky CM, et al. In vivo validation of whole body composition estimates from dual-energy X-ray absorptiometry. *J Appl Physiol* 1997;83:623-630
65. Going SB, Massett MP, Hall MC, et al. Detection of small changes in body composition by dual-energy x-ray absorptiometry. *Am J Clin Nutr* 1993;57(6):845-850
66. Pietrobelli A, Formica C, Wang Z, Heymsfield SB. Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. *Am J Physiol* 1996;271:E941-951
67. Blake GM, Fogelman I. Technical principles of dual energy x-ray absorptiometry. *Semin Nucl Med* 1997 27 (3):210-228
68. Heymsfield SB, Wang Z, Baumgartner RN, Ross R. Human body composition: advances in models and methods. *Annu Rev Nutr* 1997;17:527-558
69. Wagner K. nTOBEC-eine neue Methode zur Erfassung der Körperzusammensetzung. In, Deutsches Institut für Ernährungsforschung Potsdam Rehbrücke. Potsdam: Universität Potsdam, mathematische-naturwissenschaftliche Fakultät; 2005:118

70. Buzzell P, Pintauro S. Methods of body composition analysis tutorials. In. Burlington: University of Vermont, Department of Nutrition and Food Sciences; 2005: (02.02.2010, <http://nutrition.uvm.edu/bodycomp/dexa/dexa-toc.html>)
71. Mazess RB, Barden HS, Bisek JP, Hanson J. Dual-energy x-ray absorptiometry for total-body and regional bone-mineral and soft-tissue composition. *Am J Clin Nutr* 1990;51:1106-1112
72. Man IO, Elsabagh SM, Morrissey MC. The effect of different knee angles on knee volume measured with the Perometer device in uninjured subjects. *Clin Physiol Funct Imaging* 2003;23(2):114-119
73. Stanton AW, Northfield JW, Holroyd B, Mortimer PS, Levick JR. Validation of an optoelectronic limb volumeter. *Lymphology* 1997;30(2):77-97
74. Man IO, Markland KL, Morrissey MC. The validity and reliability of the Perometer in evaluating human knee volume. *Clin Physiol Funct Imaging* 2004;24:352-358
75. Tierney S, Aslam M, Rennie K, Grace P. Infrared optoelectronic volumetry, the ideal way to measure limb volume. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 1996;12:412-417
76. Novotec Medical GmbH. Galileotraining. In. Pforzheim, Deutschland: Novotec Medical GmbH; 2008-2010:(13.02.2010, <http://www.galileo-training.com/de-deutsch/produkte/galileo-trainingsgeraete/vibrationstraining.html>)
77. Rittweger J, Beller G, Felsenberg D. Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin Physiol* 2000;20:134-142
78. Blottner D, Salanova M, Puttmann B, et al. Human skeletal muscle structure and function preserved by vibration muscle exercise following 55 days of bed rest. *Eur J Appl Physiol* 2006;97:261-271
79. Weiß C. Basiswissen Medizinische Statistik. Heidelberg: Springer Medizin Verlag 2005:323
80. Wirz M. Timed Walking Tests-Testbeschreibung und Referenzwerte des 6-Minuten Gehtests. In. Stuttgart; 2006
81. Haass M, Zugck C, Kubler W. The 6 minute walking test: a cost-effective alternative to spiro-ergometry in patients with chronic heart failure? *Z Kardiol* 2000;89:72-80
82. Enright PL, Sherrill DL. Reference equations for the six-minute walk in healthy adults. *Am J Respir Crit Care Med* 1998;158:1384-1387
83. Hulens M, Vansant G, Claessens AL, Lysens R, Muls E. Predictors of 6-minute walk test results in lean, obese and morbidly obese women. *Scand J Med Sci Sports* 2003;13:98-105
84. Pötter Y. Bestimmung der Druckschmerzschwelle bei Patienten mit Lipödem und Lymphödem der unteren Extremitäten. In, *Aus der Klinik und Poliklinik für Physikalische Medizin und Rehabilitation der Medizinischen Fakultät Charité Berlin: Humboldt-Universität zu Berlin* 1996:81
85. Ylinen J. Pressure algometry. *Aust J Physiother* 2007;53(3):207
86. Buskila D, Neumann L, Zmora E, et al. Pain sensitivity in prematurely born adolescents. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2003;157:1079-1082

87. Schenk P, Laeubli T, Klipstein A. Validity of pressure pain thresholds in female workers with and without recurrent low back pain. *Eur Spine J* 2007;16:267-275
88. Chesterton LS, Sim J, Wright CC, Foster NE. Interrater reliability of algometry in measuring pressure pain thresholds in healthy humans, using multiple raters. *Clin J Pain* 2007;(9):760-766
89. Harden RN, Revivo G, Song S, et al. A critical analysis of the tender points in fibromyalgia. *Pain Med* 2007;(2):147-156
90. Sheffield D BP, Orom H, Maixner W, Sheps DS. . Race and sex differences in cutaneous pain perception. *Psychosom* 2000;(4)
91. Maquet D, Croisier JL, Demoulin C, Crielaard JM. Pressure pain thresholds of tender point sites in patients with fibromyalgia and in healthy controls. *Eur J Pain* 2004;(2):111-117
92. Farasyn AD, Meeusen R, Nijs J. Validity of cross-friction algometry procedure in referred muscle pain syndromes: preliminary results of a new referred pain provocation technique with the aid of a Fischer pressure algometer in patients with nonspecific low back pain. *Clin J Pain* 2008;(5):456-462
93. Jensen K, Andersen HO, Olesen J, Lindblom U. Pressure-pain threshold in human temporal region. Evaluation of a new pressure algometer. *Pain* 1986 (3):313-323
94. Pietrobelli A, Wang Z, Formica C, Heymsfield SB. Dual-energy X-ray absorptiometry: fat estimation errors due to variation in soft tissue hydration. *Am J Physiol* 1998;274:E808-816
95. Roubenoff R, Kehayias JJ, Dawson-Hughes B, Heymsfield SB. Use of dual-energy x-ray absorptiometry in body-composition studies: not yet a "gold standard". *Am J Clin Nutr* 1993;58:589-591
96. Fischer M. Dual-photon and dual-energy X-ray absorptiometry for the measurement of total-body bone mineral and soft tissue composition, *Eur J Nucl Med* 1993;20 (4):281-282
97. Bernhard-Ströl C, Hachenberger C, Trugenberg-Schnabel A. Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung, Jahresbericht 2007. In. Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU); 2008:(25.01.2010, [http://www.bfs.de/de/bfs/druck/uus/jb2007\\_zus.pdf](http://www.bfs.de/de/bfs/druck/uus/jb2007_zus.pdf))
98. Stanton AW, Badger C, Sitzia J. Non-invasive assessment of the lymphedematous limb. *Lymphology* 2000;33(3):122-135
99. Rittweger J, Just K, Kautzsch K, Reeg P, Felsenberg D. Treatment of chronic lower back pain with lumbar extension and whole-body vibration exercise: a randomized controlled trial. *Spine* 2002;27:1829-1834
100. Fjeldstad C, Palmer IJ, Bembem MG, Bembem DA. Whole-body vibration augments resistance training effects on body composition in postmenopausal women. . *Maturitas* 2009;63(1):79-83
101. Kersch-Schindl K, Grampp S, Henk C, et al. Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clin Physiol* 2001;21:377-382

102. Fagnani F, Giombini A, Di Cesare A, Pigozzi F, Di Salvo V. The effects of a whole-body vibration program on muscle performance and flexibility in female athletes. *Am J Phys Med Rehabil* 2006;85:956-962
103. Belavý DL, Miokovic T, Armbrrecht G, Rittweger J, Felsenberg D. Resistive vibration exercise reduces lower limb muscle atrophy during 56-day bed-rest. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2009 9(4):225-235.
104. Rehn B, Lidstrom J, Skoglund J, Lindstrom B. Effects on leg muscular performance from whole-body vibration exercise: a systematic review. *Scand J Med Sci Sports* 2007;17:2-11
105. Verschueren SM, Roelants M, Delecluse C, et al. Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: a randomized controlled pilot study. *J Bone Miner Res* 2004;19(3):352-359
106. Delecluse C, Roelants M, Diels R, Koninckx E, Verschueren S. Effects of whole body vibration training on muscle strength and sprint performance in sprint-trained athletes. *Int J Sports Med* 2005;26:662-668
107. Häfner HM, Eichner M, Jünger M. Medizinische Kompressionstherapie. *Zentralbl Chir* 2001;126(7):551-556
108. Hardy JD, Wolff HG, Goodell H. Studies on pain; discrimination of differences in intensity of a pain stimulus as a basis of a scale of pain intensity. *J Clin Invest* 1947;(6):1152-1158
109. Birbaumer N., Schmidt R.F. Springer Lehrbuch Biologische Psychologie. In: Auflage ed: (09.06.2010, [http://www.uni-trier.de/uploads/media/2021\\_Zirkadiane\\_Rhythmen.pdf](http://www.uni-trier.de/uploads/media/2021_Zirkadiane_Rhythmen.pdf))
110. Pero-System Messgeräte GmbH. In: Eder F ed. Wuppertal: Pero-System Messgeräte GmbH:(11.06.2010,<http://www.pero-system.de/index.htm>)
111. Independent Imaging. In. Florida, USA:(11.06.2010,<http://independentimaging.com/DEXA.htm>)



Abb. 1	Schematische Übersicht der neuronalen Verbindungen und die Beeinflussungen durch die Vibrationen (+/-) .....	20
Abb. 2	Studiendesign (U1-U3 = Untersuchungszeiträume) .....	23
Abb. 3	hypothetischer Funktionsprinzip des Galileotrainingsgerätes.....	33
Abb. 4	Laufleistung der beiden Trainingsgruppen im Sechs-Minuten-Gehtest zu den drei Untersuchungszeiträumen.....	39
Abb. 5	Änderung der Laufleistung im Gehtest in Metern bei beiden Trainingsgruppen in den Untersuchungszeiträumen .....	40
Abb. 6	Gegenüberstellung der errechneten Mindestwerte des Sechs-Minuten-Gehtests beider Gruppen zur Anzahl der Laufmeter beider Gruppen oberhalb des Mindestwertes.....	41
Abb. 7	Dolorimetermessung in kg/cm <sup>2</sup> der einzelne Messpunkte an den Beinen beider Gruppen zu den drei Untersuchungszeitpunkten .....	43
Abb. 8	Gesamtdolorimetermessdaten der Beine zu den drei Untersuchungszeitpunkten der beiden Gruppen .....	44
Abb. 9	Abnahme der Druckschmerzempfindlichkeit in kg/cm <sup>2</sup> in den beiden Gruppen in den angegebenen Zeiträumen.....	47
Abb. 10	Änderung der Mittelwerte in kg der DXA-Fettgewebssmessung zu den drei Untersuchungszeiträumen in beiden Gruppen .....	48
Abb. 11	Vergleich der Mittelwertdifferenzen des Fettgewebes in kg zu den drei Untersuchungszeiträumen in den beiden Gruppen.....	50
Abb. 12	Magergewebemittelwerte in kg zu den drei Untersuchungszeiträumen in beiden Gruppen.....	50
Abb. 13	Veränderung der Mittelwerte in kg der DXA-Magergewebssmessung zu den drei Untersuchungszeiträumen in beiden Gruppen .....	52
Abb. 14	Perometermessung der Beine beider Trainingsgruppen in ml zu den drei Untersuchungszeitpunkten .....	53
Abb. 15	Gegenüberstellung der Änderung der Perometermessung in ml in beiden Gruppen zu den drei Beobachtungszeiträumen .....	54
Abb. 16	Häufigkeit der Lymphdrainagenbehandlung pro Woche .....	55
Abb. 17	Die Tragehäufigkeit der Kompressionsstrümpfe während unserer Studienzeit.....	55
Abb. 18	Durchschnittliche Tragedauer der Kompressionsstrümpfe .....	56
Abb. 19	Tragen der Kompressionsstrümpfe zum Training.....	56
Abb. 20	Bekanntes familiäres Auftreten des Lipödems in der Familie .....	57
Abb. 21	Familiäre Häufung des Lipödems in den Beinen der Familienmitglieder der Studienteilnehmer.....	57
Abb. 22	Subjektive Beurteilung der derzeitigen Schwellung zu den drei Untersuchungszeitpunkten .....	57
Abb. 23	Subjektive Beurteilung der Schmerzen in beiden Trainingsgruppen zu den drei Untersuchungszeitpunkten .....	59

Abb. 24	Lokalisation der bestehenden Schmerzen in den Beinen und im Rücken (Mehrfachantwortmöglichkeit) zu den drei Untersuchungszeitpunkten in beiden Gruppen.....	60
Abb. 25	Befragung zur subjektiven Einschätzung, unter welchen Umständen die Teilnehmer beider Gruppen im Laufe des Tages unter Schmerzen in den Beinen leiden (Mehrfachantwortmöglichkeit).....	61
Abb. 26	Darstellung der gemittelten subjektiven Schmerzempfindung mit Hilfe der NRS in der Gegenüberstellung zu den gemessenen Werten der Dolorimetermessung beider Gruppen, getrennt nach den drei Untersuchungszeitpunkten.....	62
Abb. 27	Subjektive Beurteilung der derzeitigen Hämatomneigung in den beiden Trainingsgruppen zu den drei Untersuchungszeitpunkten.....	63
Abb. 28	Subjektive Beurteilung der derzeitigen Mobilität in den beiden Trainingsgruppen zu den drei Untersuchungszeitpunkten.....	64
Abb. 29	Häufigkeit der regelmäßigen sportlichen Aktivität der Lipödempatienten zu Studienbeginn.....	65
Abb. 30	Trainingsdauer der sportlichen Aktivität der Lipödempatienten, bezogen auf die regelmäßigen Aktivitäten der Lipödempatienten zu Studienbeginn.....	65
Abb. 31	Beurteilung des Anstrengungsempfindens des Trainings auf der Skala von Borg (6 = überhaupt nicht anstrengend und 20 = maximale Anstrengung).....	66
Abb. 32	Bewertung der Schwierigkeit des Trainings in den beiden Trainingsgruppen.....	66
Abb. 33	Häufigkeit der Durchführung des Beinmuskeltrainings zu Hause im Zeitraum U2 zu U3.....	67
Abb. 34	Bewertung des Trainingserfolgs der beiden Trainingsgruppen auf einer Skala von 0-10 (0 = kein Erfolg, 10 = größter vorstellbarer Erfolg).....	67
Abb. 35	Vergleich der Antworten der beiden Gruppen zur Frage: „Hat die Teilnahme an der Studie Sie motiviert wieder Sport zu treiben?“.....	68
Abb. 36	Vergleich der Antworten der beiden Gruppen zur Aussage: “Die Trainingsteilnahme trug zur Steigerung ihres Wohlbefindens bei.“.....	68
Abb. 37	5000 Jahre alte steinerne Statue der großen Göttin im Tempel Hal Tarxien, Malta [5].....	109
Abb. 38	3500 Jahre altes Relief der Fürstin von Punt, Hatschepsut-Tempel, Ägypten [5]....	109
Abb. 39	Galileotrainingsgerät - Galileo 2000.....	110
Abb. 40	Handdolorimetergerät nach Andrew A. Fischer der Firma pain diagnostic and thermography (pdt).....	110
Abb. 41	Perometermessgerät Typ 400 T [110].....	111
Abb. 42	Messprinzip des Perometers [110].....	112
Abb. 43	Duale-Röntgen-Absorptiometrie (DXA), Modell Lunar Prodogy Advance [111]....	112

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Stadien des Lipödems [8] .....	13
Tab. 2	Einteilung des Lipödems nach der Lokalisation [33] .....	14
Tab. 3	Weitere Formen der Fettgewebsvermehrung [22] [37] .....	17
Tab. 4	Ausschlusskriterien .....	24
Tab. 5	Ausgangswerte der Studienteilnehmer in den beiden Gruppen .....	25
Tab. 6	Einteilung der FMI und BMI Klassen .....	26
Tab. 7	Anzahl der Studienteilnehmer zu Beginn und am Ende der Studie .....	26
Tab. 8	Friedman-Test zum Gehtest der beiden Gruppen .....	39
Tab. 9	U-Test zum Vergleich der Laufleistungsdifferenzen der beiden Gruppen in Metern ..	40
Tab. 10	Berechnete Mindestwerte des Gehtests in Metern für die beiden Trainingsgruppen, entsprechend der Regressionsformel von Enright und Sherrill .....	41
Tab. 11	Meter des Gehtests der beiden Gruppen oberhalb des berechneten Mindestwertes .....	41
Tab. 12	Übersicht der einzelnen Mittelwerte der Messpunkte der Dolorimetermessung der beiden Gruppen mit den dazugehörigen Standardabweichungen .....	42
Tab. 13	Pearson-Korrelationskoeffizient r zwischen den Mittelwerten der sechs Messbereiche des Beines und den Mittelwerten der vom gesamten Bein erhobenen Dolorimetermessdaten der Probanden .....	43
Tab. 14	unverbundene t-Test zum Vergleich der Mittelwerte der Gesamtdolorimeterdaten zu den drei Untersuchungszeitpunkten .....	44
Tab. 15	Verbundenen t-Test zum Vergleich der Differenzen der Mittelwerte der sechs Messbereiche und der Gesamtdolorimetermessdaten zu den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, getrennt nach Gruppe .....	45
Tab. 16	Der unverbundene t-Test zum Vergleich der Ergebnisse der Dolorimetermessung zwischen beiden Gruppen .....	46
Tab. 17	Pearson-Korrelation zwischen der Dolorimetermessung und der subjektiven Schmerzeinschätzung der Probanden mit Hilfe der NRS .....	47
Tab. 18	Fettgewebsmasse der Beine in kg zu den entsprechenden Untersuchungszeitpunkten	48
Tab. 19	Verbundene t-Test zu den Veränderungen des Fettgewebes innerhalb jeder einzelnen Gruppe zu den drei entsprechenden Untersuchungszeiträumen .....	49
Tab. 20	Unverbundene t-Tests zur Berechnung der Mittelwertdifferenzen der Fettveränderungen zwischen den Untersuchungszeiträumen der zwei Gruppen .....	49
Tab. 21	Magergewebsmasse der Beine in kg zu den entsprechenden Untersuchungs- zeitpunkten unter Angabe der Mittelwerte, der Standardabweichungen, der Mediane und Quartile .....	51
Tab. 22	Verbundene t-Test zu den Veränderungen des Fettgewebes innerhalb jeder einzelnen Gruppe zu den drei entsprechenden Untersuchungszeiträumen .....	51
Tab. 23	Unverbundene t-Tests zur Berechnung der Mittelwertdifferenzen der Mager- gewebsveränderung zwischen den Untersuchungszeiträumen der zwei Gruppen .....	51
Tab. 24	Friedman-Test zur Volumenmessung der Beine der beiden Trainingsgruppen in ml ..	53

## Tabellenverzeichnis

---

Tab. 25	U-Test zur Berechnung der Differenzen der Mediane der Volumenänderung der beiden Gruppen zu den entsprechenden Untersuchungszeiträumen.....	54
Tab. 26	Friedman-Test und U-Test zur subjektiven Beschreibung der derzeitigen Schwellung der Beine.....	58
Tab. 27	Pearson-Korrelation zwischen den Daten der Perometermessung und der subjektiven Einschätzung des Volumens der Beine der Probanden .....	58
Tab. 28	Friedman-Test zur subjektive Beschreibung der derzeitigen Schmerzen in den Beinen zu den entsprechenden Untersuchungszeitpunkten in beiden Gruppen.....	59
Tab. 29	Friedman-Test und U-Test zur Veränderung der subjektiven Schmerzwahrnehmung in den Beinen und im Rücken in den beiden Gruppen.....	60
Tab. 30	Pearson-Korrelation zwischen der Dolorimetermessung und der subjektiven Schmerzeinschätzung mit Hilfe der NRS (numeric rating scale) .....	62
Tab. 31	Subjektive Beschreibung der derzeitigen Hämatombildung in den Beinen zu den entsprechenden Untersuchungszeitpunkten .....	63
Tab. 32	Subjektive Beschreibung der derzeitigen Mobilität (bezogen auf die Ausdauer und Laufleistung) zu den entsprechenden Untersuchungszeitpunkten .....	64

---

## Anhang

### Abbildungen

Abb. 37 5000 Jahre alte steinerne Statue der großen Göttin im Tempel Hal Tarxien, Malta [5]

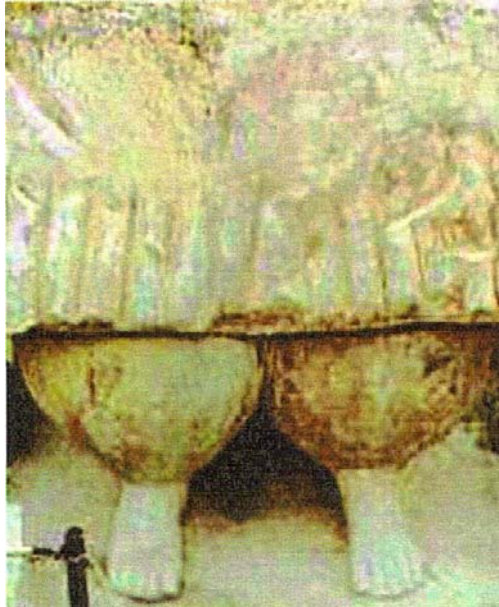


Abb. 38 3500 Jahre altes Relief der Fürstin von Punt, Hatschepsut-Tempel, Ägypten [5]

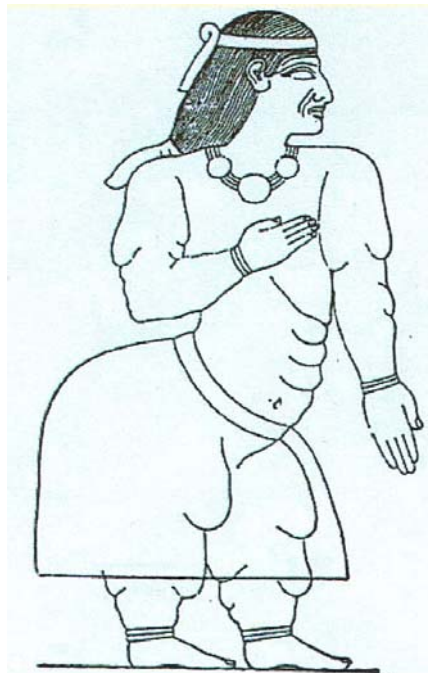


Abb. 39 Galileotrainingsgerät - Galileo 2000



Abb. 40 Handdolorimetergerät nach Andrew A. Fischer der Firma pain diagnostic and thermography (pdt)

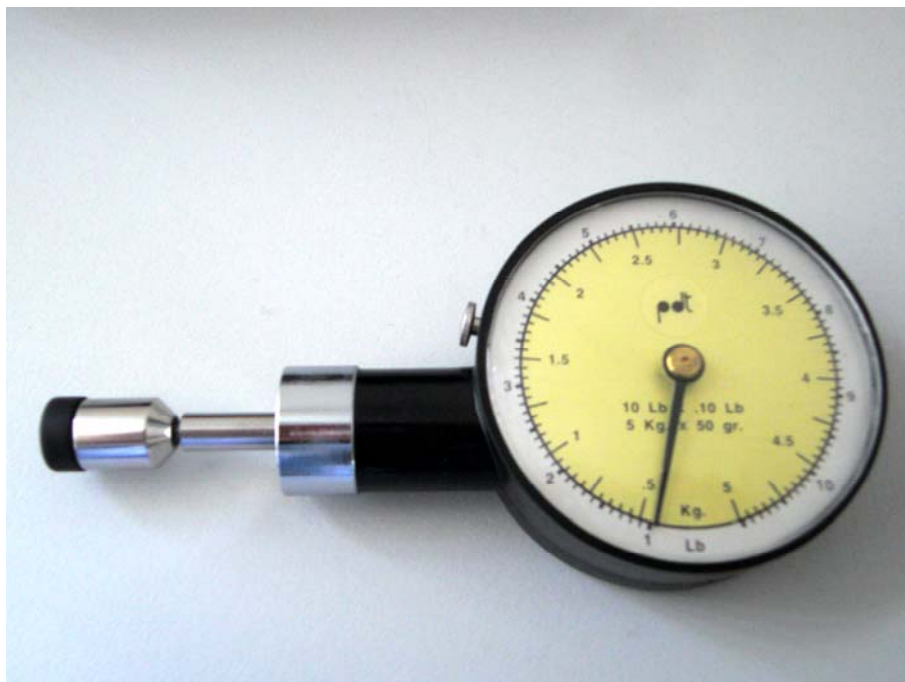


Abb. 41 Perometermessgerät Typ 400 T [110]



Abb. 42 Messprinzip des Perimeters [110]

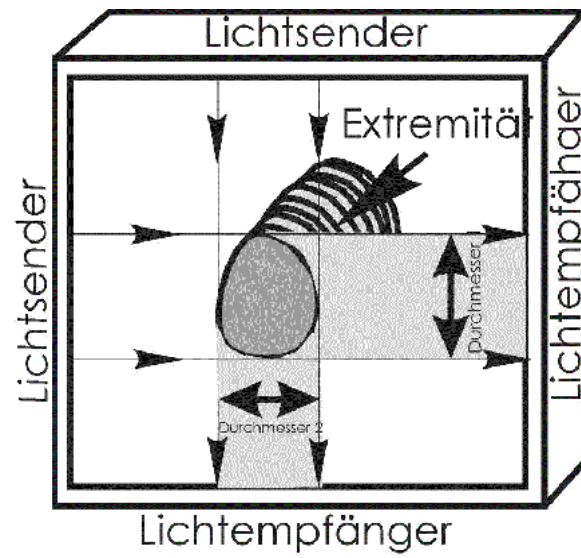


Abb. 43 Duale-Röntgen-Absorptiometrie (DXA), Modell Lunar Prodigy Advance [111]





---

## **Trainingsprogramme**

### **Übungsheft Beinmuskeltraining**

<b>Beinmuskeltraining im Rahmen der Studie: „Vibrationstraining bei Lipödem“</b>	<b>Doktorandin: Dana Schwarze</b>
<b>Übungshinweise</b>	<b>Seite 1 von 13</b>

**Sehr geehrte Patientin,**

hiermit erhalten Sie eine Zusammenfassung des Übungsprogrammes für das Beinmuskeltraining. Wir bitten Sie dieses Trainingsprogramm, zusätzlich zu den Anleitungen unserer Einrichtung, selbständig zu Hause durchzuführen.

Bitte vergessen Sie nicht, zwischen den einzelnen Übungen eine ca. 1 minütige Pause einzulegen.



Die Gesamtübungszeit beträgt, je nach Schnelligkeit der Übungsdurchführung, ca. 15 - 20 Minuten. Es ist empfehlenswert die Übungen einmal täglich durchzuführen, bzw. mindestens dreimal wöchentlich!

Mit freundlichen Grüßen

Dana Schwarze

<b>Beinmuskeltraining im Rahmen der Studie: „Vibrationstraining bei Lipödem“</b>	<b>Doktorandin: Dana Schwarze</b>
<b>Aufwärmphase</b>	<b>Seite 2 von 13</b>



### Übung 1

Treten Sie zügig auf einer Stelle und nehmen Sie dabei die Knie so weit wie möglich mit nach oben.

Während dieser Übung berühren Sie bitte abwechselnd das linke Knie mit der rechten Hand und das rechte Knie mit der linken Hand.



### **Übungsdurchführung**

**10 mal jedes Bein  
3 mal wiederholen**

<b>Beinmuskeltraining im Rahmen der Studie: „Vibrationstraining bei Lipödem“</b>	<b>Doktorandin: Dana Schwarze</b>
<b>Aufwärmphase</b>	<b>Seite 3 von 13</b>

### Übung 2

Gehen Sie nun im Raum und achten Sie dabei bewusst auf das Abrollen Ihrer Füße beim Gehen, d.h. Sie sollten dabei versuchen richtig von der Ferse über den ganzen Fuß bis auf die Fußspitze abzurollen!



#### **Übungsdurchführung**

**2 mal jedes Bein  
ca. eine Minute**

<b>Beinmuskeltraining im Rahmen der Studie: „Vibrationstraining bei Lipödem“</b>	<b>Doktorandin: Dana Schwarze</b>
<b>Aufwärmphase</b>	<b>Seite 4 von 13</b>



### Übung 3

Anschließend versuchen Sie weiter im Raum zu gehen, jedoch gehen Sie nun abwechselnd ein paar Schritte auf den Fersen und dann einige auf dem Fußballen.



#### **Übungsdurchführung**

**2 mal jedes Bein  
ca. eine Minute**

<b>Beinmuskeltraining im Rahmen der Studie: „Vibrationstraining bei Lipödem“</b>	<b>Doktorandin: Dana Schwarze</b>
<b>Alternativübungen</b>	<b>Seite 13 von 13</b>

### Alternativübung für Übung 10



Die angewinkelten Beine befinden sich in der Luft und die Unterschenkel in der Waagerechten. Bitte versuchen Sie nun die Füße im Wechsel zu strecken und anzuziehen.

Setzen Sie sich aufrecht hin und strecken Sie dabei die Beine. Beugen und Strecken Sie ihre Füße im Wechsel.

#### **Übungsdurchführung**

**10 mal  
2 mal wiederholen**

Beinmuskelttraining im Rahmen der Studie: „Vibrationstraining bei Lipödem“	Doktorandin: Dana Schwarze
Alternativübungen	Seite 12 von 13

### Alternativübung für Übung 7

Bitte winkeln Sie die Beine an und stellen Sie einen Fuß auf die Ferse und den anderen auf die Fußspitze.

Wechseln Sie nun im schnellen Wechsel Ferse und Fußspitze der beiden Füße.



#### Übungsdurchführung

10 mal  
2 mal wiederholen

### Alternativübung für Übung 8

Gesäß bei dieser Übung auf der Unterlage belassen.

Beinmuskelttraining im Rahmen der Studie: „Vibrationstraining bei Lipödem“	Doktorandin: Dana Schwarze
Aufwärmphase	Seite 5 von 13

### Übung 4

Bleiben Sie nun stehen und versuchen Sie sich in eine leichte Hocke zu begeben (**Position 1**), aus der Sie sich dann abwechselnd schwungvoll emporheben und in eine komplette Körperstreckung auf die Zehenspitzen übergehen (**Position 2**).

Bitte nehmen Sie dabei die Arme mit in die Höhe, um die Bewegung aktiv zu unterstützen

#### Übungsdurchführung

10 mal

#### 1. Position



#### 2. Position





<b>Beinmuskeltraining im Rahmen der Studie: „Vibrationstraining bei Lipödem“</b>	<b>Doktorandin: Dana Schwarze</b>
<b>Aufwärmphase</b>	<b>Seite 6 von 13</b>



### Übung 5

Setzen Sie sich nun bequem auf einen Stuhl. Versuchen Sie bitte abwechselnd mit ihren nackten Zehen ihre vor sich liegenden ausgezogenen Socken zu ergreifen und hochzuheben.

Sofern Sie diese Übung im Sitzen gut beherrschen, steigern Sie doch bitte die Schwierigkeit der Übung, indem Sie diese im Stehen ausführen.



**Übungsdurchführung**  
**10 mal jedes Bein**

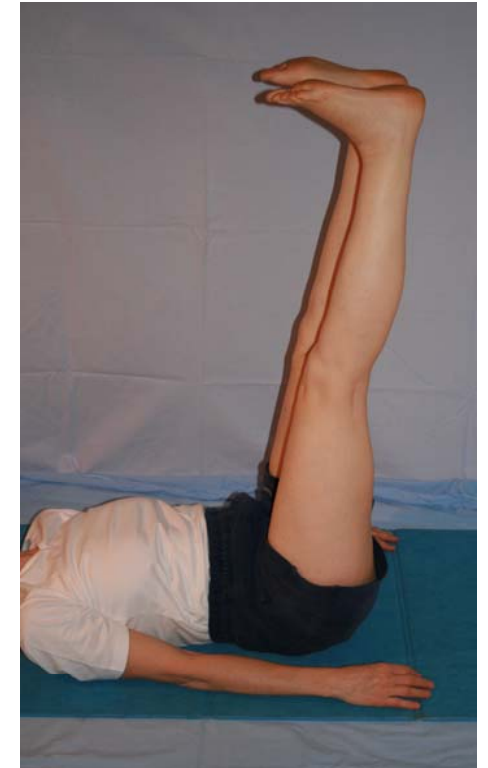
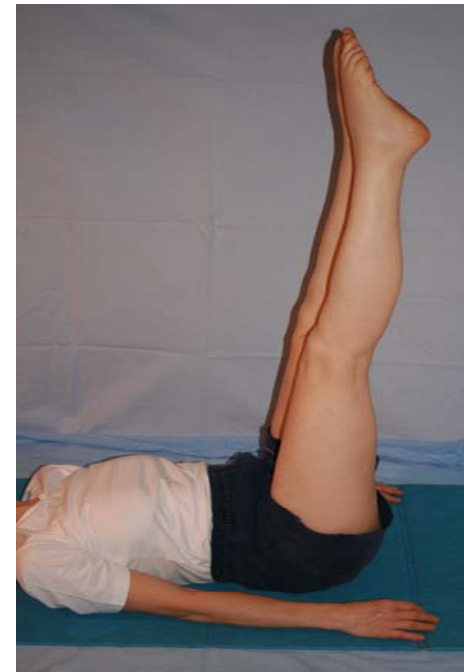
<b>Beinmuskeltraining im Rahmen der Studie: „Vibrationstraining bei Lipödem“</b>	<b>Doktorandin: Dana Schwarze</b>
<b>Bodenübungen</b>	<b>Seite 11 von 13</b>

### Übung 10

Bleiben Sie in der Rückenlage und heben Sie Ihre Beine nach oben.

Die Füße werden anschließend abwechselnd gestreckt und angezogen.

**Übungsdurchführung**  
**10 mal**  
**2 mal wiederholen**



<b>Beinmuskeltraining im Rahmen der Studie: „Vibrationstraining bei Lipödem“</b>	<b>Doktorandin: Dana Schwarze</b>
<b>Bodenübungen</b>	<b>Seite 10 von 13</b>



**Übung 9**

Legen Sie sich bitte auf ihre rechte Körperseite, wobei die gesamte Körperseite einschließlich des rechten Armes gestreckt sind.

Heben Sie nun ihr linkes Bein gestreckt in die Höhe und senken Sie es dann wieder langsam. Wechseln Sie dann bitte die Seiten.



**Übungsdurchführung**  
**5 mal pro Seite**  
**2 mal wiederholen**

<b>Beinmuskeltraining im Rahmen der Studie: „Vibrationstraining bei Lipödem“</b>	<b>Doktorandin: Dana Schwarze</b>
<b>Aufwärmphase</b>	<b>Seite 7 von 13</b>

**Übung 6**

Bleiben Sie sitzen und tippen Sie nun im schnellen Wechsel mit den Zehenspitzen bei erhobener Ferse abwechselnd auf den Boden.

**Übungsdurchführung**  
**10 mal jedes Bein**  
**2 mal wiederholen**





Beinmuskeltraining im Rahmen der Studie: „Vibrationstraining bei Lipödem“	Doktorandin: Dana Schwarze
Bodenübungen	Seite 8 von 13

**Achtung:**

Bitte bei den nachfolgenden Bodenübungen darauf achten, dass Sie die Lendenwirbelsäule immer fest auf die Unterlage drücken – ein Hohlkreuz sollte unbedingt vermieden werden!



**Übung 7**

Legen Sie sich in die Rückenlage und heben Sie die Beine im rechten Winkel in der Luft und führen Sie mit den Beinen Fahrradbewegungen aus.

**Übungsdurchführung**  
10 mal vorwärts  
10 mal rückwärts

Beinmuskeltraining im Rahmen der Studie: „Vibrationstraining bei Lipödem“	Doktorandin: Dana Schwarze
Bodenübungen	Seite 9 von 13

**Übung 8**

Legen Sie sich nun mit angewinkelten aufgesetzten Beinen auf den Rücken. Heben sie Ihren Po an, sodass ihre Oberschenkel und Ihr Rücken eine Ebene bilden.

Wechseln Sie dabei mit beiden Füßen von der Ferse auf die Fußspitzen und zurück.



**Ausgangsposition**



**Übungsdurchführung**  
10 mal jedes Bein  
2 mal wiederholen

**Galileotrainingsübungen**

## Trainingsgeräte:

A.) Galileogerät	B.) Trainingsgerätemanordnung für Brückenübung mit Aerobic-step-Gymnastikgerät und Galileogerät
 A photograph of a Galileo device, which is a black platform with a silver frame and a control panel on a stand to the left. It is positioned in a room with a window and a potted plant.	 A photograph showing the training setup. The Galileo device is on the left, and an aerobic step gymnastics device is on the right. The room has a window with blinds and a potted plant.

**Zum Übungsprogramm der ersten drei Wochen zählen mit steigendem Schwierigkeitsgrad Kombinationen der nachfolgend aufgezählten Übungen:**

1.) ruhiges Stehen mit leicht gebeugten Knien (Hände am Haltebügel)	2.) Stehen auf den Fußspitzen
 A photograph of a woman in a black tank top and pants standing on the Galileo device. She is holding the silver frame with both hands. Her knees are slightly bent.	 A photograph of the same woman on the Galileo device, standing on her tiptoes. She is holding the silver frame with both hands.

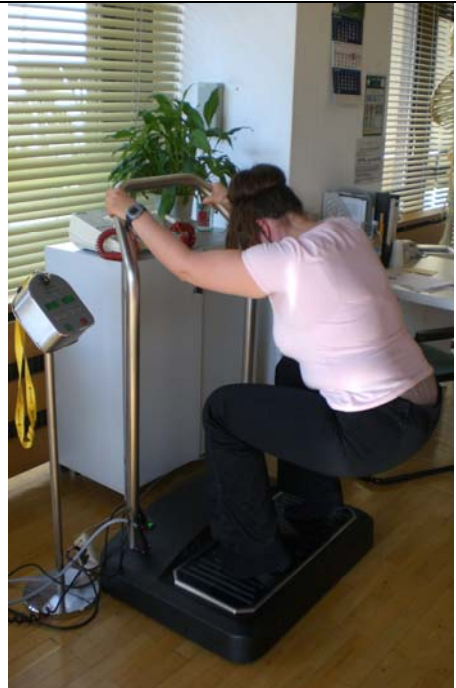
3.) Stehen auf den Fersen



4.) Stehen auf einem Bein



5.) Steigerung der Schwierigkeit der vier oben genannten Übungen durch zusätzliche mehrere langsame Kniebeuge mit einem kurzen Halten in der Hocke (hier am Beispiel der Übung beim Stehen auf den Fußspitzen sowie beim Einbeinstand)





## 6.) „Brückenübung“



## Persönlicher Galileo - Trainingsplan

**Name:** \_\_\_\_\_ **Geburtsdatum:** \_\_\_\_\_ **Telefonnummer:** \_\_\_\_\_

**Trainingsbeginn:** \_\_\_\_\_ **Vorgesehenes Trainingsende:** \_\_\_\_\_ **Ort:**  CCM (Mitte)  CBF (Steglitz)

**Trainingstage:**  Mo  Di  Mi  Do  Fr

**Zeit:** \_\_\_\_\_ | \_\_\_\_\_ | \_\_\_\_\_ | \_\_\_\_\_ | \_\_\_\_\_

Trainingswoche	Trainingstag	Frequenz	Zeit	Bemerkungen
<b>1. Woche</b>				
<b>2. Woche</b>				
<b>3. Woche</b>				
<b>4. Woche</b>				
<b>5. Woche</b>				
<b>6. Woche</b>				

**Fragebögen**

**Rekrutierungsfragebogen**

Vibrationstraining beim Lipödem	Doktorantin: Dana Schwarze
Kontrollbogen für die Patientenaufnahme	Seite I von II

Name: \_\_\_\_\_ Vorname : \_\_\_\_\_ Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

**Einschlusskriterien:**

- Geschlecht:  weiblich  männlich
- Gewicht: \_\_\_\_\_ kg
- Größe: \_\_\_\_\_ cm

- |   | <b>Ja</b>                | <b>Nein</b>              |
|---|--------------------------|--------------------------|
| ▪ Patient 18 - 60 Jahre alt:  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ▪ Klinisch gesicherte Diagnose  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ▪ Lipödem der Beine   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ▪ Einverständnis für Speicherung und Weitergabe persönlicher Krankendaten | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ▪ Einwilligung zur Studienteilnahme unterschrieben                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

**Ausschlusskriterien**

- |  | <b>Ja</b>                | <b>Nein</b>              |
|--|--------------------------|--------------------------|
| ▪ Patient mit Erysipel                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ▪ Patient mit Sepsis                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ▪ Entzündungen des Knochen-, Gelenk- und Sehnenapparates | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ▪ frische OP, Wunden, Narben oder Frakturen              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ▪ Steinleiden von Gallen- und Harnwege                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |



<b>Vibrationstraining beim Lipödem</b>	<b>Doktorantin: Dana Schwarze</b>	
<b>Kontrollbogen für die Patientenaufnahme</b>	<b>Seite II von II</b>	

- |  |                          |                          |
|--|--------------------------|--------------------------|
| ▪ Migräne  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ▪ Epilepsie  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ▪ Implantat  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ▪ Hernienleiden  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ▪ Schwangerschaft  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ▪ teilnahmeverhindernder Wohnortwechsel<br>in den nächsten 6 Monaten | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

**Weitere für die Studie relevanten Daten:**

- |  | Ja                       | Nein                     | Bemerkungen<br><small>(was, wie viel, wie regelmäßig,<br/>seit wann etc.)</small> |
|--|--------------------------|--------------------------|---|
| ▪ bisherige körperliche<br>Aktivitäten (allgemein)                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____   |
| ○ Fitnessclubmitglied  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____   |
| ○ Sportvereinsmitglied   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____   |
| ▪ Erfahrungen mit einem<br>Vibrationssystem (z.B. Galileo)           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____   |
| ▪ derzeitige physiotherapeutische<br>Behandlung                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____   |
| ▪ Medikamenteneinnahme wie z.B.<br>Diuretika, Schmerzmittel, Hormone | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____   |
| ▪ Raucher  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____   |
| ▪ Lipödem in der Familie   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____   |

Datum

Unterschrift des Patienten

Unterschrift des Arztes

Datum:

### Kurzanamnese

Name: \_\_\_\_\_

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

▪ **Diagnosezeitpunkt:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

▪ **Verlauf und Krankheitsgeschichte:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

	Ja	Nein	Bemerkungen (was, wie viel, seit wann, auch während der Studie ?)
▪ <b>bisherige körperliche Aktivität</b> (allgemein)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
➤ Fitnessclubmitglied	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
➤ Sportvereinsmitglied	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
			_____
▪ <b>Erfahrungen mit einem Vibrationssystem (z.B. Galileo)</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
▪ <b>physiotherapeutische Behandlung</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
➤ manuelle Lymphdrainage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
➤ Reha	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
➤ Krankengymnastik (Bewegungsbad u.a.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
➤ Kompressionsstrümpfe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
▪ <b>Medikamenteneinnahme</b> wie z.B. Diuretika, Schmerzmittel, Hormone	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
▪ <b>Raucher</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
▪ <b>Lipödem in der Familie</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
▪ <b>Grunderkrankungen</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
			_____

## **Trainingsfragebögen**

Name: \_\_\_\_\_

Datum: . . 2008

Woche: \_\_\_\_\_

Training: \_\_\_\_\_

## Abschätzung des Anstrengungsempfindens

Sehr geehrte Patientin,

wir wollen Ihr Anstrengungsempfinden während der Belastung bestimmen, das heißt wir wollen feststellen, wie anstrengend für sie das Beinmuskeltraining bzw. das Vibrationstraining ist.

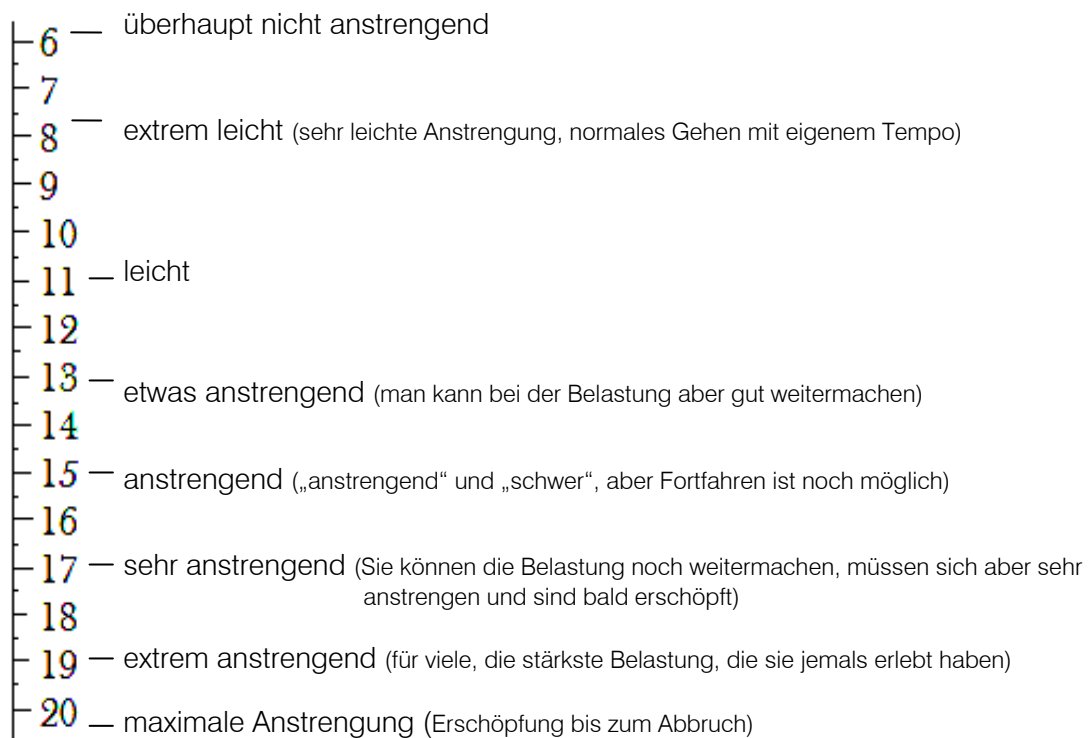
Das Anstrengungsempfinden hängt von der Beanspruchung und der Ermüdung der Muskulatur ab, ferner von Atemlosigkeit (bzw. Luftnot) oder Brustschmerzen.

Mithilfe der RPE-Skala (ratings of perceived exertion=Schätzung der wahrgenommenen Kraftanstrengung) von Borg, einer Skala von 6 bis 20, lässt sich Ihr Anstrengungsempfinden beurteilen.

Auf dieser Skala bedeutet 6 = überhaupt nicht anstrengend und 20 = maximale Anstrengung.

Bitte versuchen Sie ihr Anstrengungsempfinden so spontan und ehrlich wie möglich anzugeben, ohne über die aktuelle Belastung nachzudenken. Versuchen Sie die Anstrengung weder zu über- noch zu unterschätzen. Ihre eigene Leistung und Anstrengung ist wichtig, nicht die im Vergleich zu anderen.

**Schauen sie auf die Skala und die begleitenden Worte und markieren sie bitte die entsprechende Zahl ihres Anstrengungsempfindens auf dieser Skala.**



Vielen Dank!

Name: \_\_\_\_\_

Datum: . . 2008

Woche: \_\_\_\_\_

Training: \_\_\_\_\_

### Fragebogen zum durchgeführten Beinmuskeltraining

Sehr geehrte Patientin,

bitte beantworten Sie so genau und ehrlich wie möglich die unten aufgeführten Fragen. Wir möchten uns damit einen kleinen Überblick über das von uns durchgeführte Beinmuskeltraining verschaffen.

Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

#### 1.) Haben sie das Beinmuskeltraining gut vertragen?

- ja  
 nein (bitte näher beschreiben wie sie es nicht vertragen haben, bzw. welche Probleme aufgetreten sind)

---

---

---

#### 2.) Welche Veränderungen/Symptome zeigten sich nach dem Training bei Ihnen? (z.B. Muskelkater, Verbesserungen der vorhandenen Beschwerden.....)

---

---

---

#### 3.) Wie oft, zusätzlich zu dem zweimaligen Training hier bei uns, haben Sie zu Hause das Beinmuskeltraining selbständig durchführen können?

- leider gar nicht (dann weiter bei Frage 4)  
 ca.1 mal pro Woche  
 ca. 2-3 mal pro Woche  
 3-4 mal pro Woche  
 >4 mal pro Woche (bitte genaue Angabe wie oft \_\_\_\_\_ )

#### 4.) Hatten Sie Schwierigkeiten beim selbstständigen Durchführen der Übungen?

- nein  
 ja (wenn ja, bitte näher beschreiben)

---

---

---

#### 5.) Wie empfinden Sie den Schwierigkeitsgrad des Beinmuskeltrainings ?

- zu leicht  
 zu leicht bis genau richtig  
 genau richtig  
 genau richtig bis zu schwer  
 zu schwer

**6.) Gibt es andere, von uns nicht berücksichtigte Übungen, die Ihnen persönlich sehr gut helfen? Bitte beschreiben sie diese näher!**

---

---

---

---



Name: \_\_\_\_\_

Datum: . . 2008

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

### Fragebogen zum durchgeführten Beinmuskeltraining zu Hause

Sehr geehrte Patientin,

bitte beantworten Sie so genau und ehrlich wie möglich die unten aufgeführten Fragen. Wir möchten uns damit einen kleinen Überblick über das von Ihnen zu Hause durchgeführte Beinmuskeltraining verschaffen.

1.) Haben sie das Beinmuskeltraining gut vertragen?

- ja  
 nein (bitte näher beschreiben wie sie es nicht vertragen haben, bzw. welche Probleme aufgetreten sind)

---

---

---

2.) Welche Veränderungen/Symptome zeigten sich nach dem Training bei Ihnen?  
(z.B. Muskelkater, Verbesserungen der vorhandenen Beschwerden.....)

---

---

---

3.) Wie oft haben Sie zu Hause das Beinmuskeltraining während der letzten 6 Wochen durchgeführt?

- leider gar nicht (dann weiter bei Frage 5)  
 ca. 1 mal pro Woche  
 ca. 2-3 mal pro Woche  
 3-4 mal pro Woche  
 >4 mal pro Woche (bitte genaue Angabe wie oft \_\_\_\_\_ )

4.) Hatten Sie Schwierigkeiten beim selbstständigen Durchführen der Übungen?

- nein  
 ja (wenn ja, bitte näher beschreiben)

---

---

---

5.) Haben sie während des Trainings zu Hause Ihre Kompressionsstrümpfe getragen?

- nein  
 ja  
 manchmal



Name: \_\_\_\_\_

Datum: . . 2008

Geburtsdatum \_\_\_\_\_

### Fragebogen zum durchgeführten Galileotraining

Sehr geehrte Patientin,

bitte beantworten Sie so genau und ehrlich wie möglich die unten aufgeführten Fragen. Wir möchten uns damit einen kleinen Überblick über das von uns durchgeführte Galileotraining verschaffen.

Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

#### 1.) Haben sie das Galileotraining gut vertragen?

- ja  
 nein (bitte unten näher beschreiben wie sie es nicht vertragen haben, bzw. welche Probleme aufgetreten sind)

---

---

---

#### 2.) Welche Veränderungen/Symptome zeigten sich nach dem Training bei Ihnen? (z.B. Muskelkater, Verbesserungen der vorhandenen Beschwerden.....)

---

---

---

#### 3.) Wie empfinden Sie den Schwierigkeitsgrad des Galileotraining ?

- zu leicht  
 zu leicht bis genau richtig  
 genau richtig  
 genau richtig bis zu schwer  
 zu schwer

#### 4.) Was hätten Sie gerne am Galileotraining verändert, bzw. gibt es andere, von uns nicht berücksichtigte Übungen im Zusammenhang mit dem Galileosystem? Bitte beschreiben sie diese näher!

---

---

---

---

**Fragebögen zur U1**

Name: \_\_\_\_\_

Datum: . . 2008

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

**Fragebogen zum Studienbeginn:  
„Vibrationstraining bei Lipödem der Beine“**

Sehr geehrte Patientin!

Welche Therapie werden sie in den nächsten 6 Wochen erhalten?

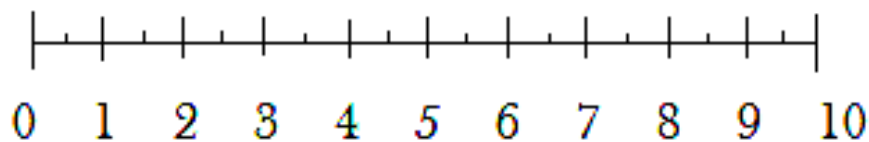
Therapie: Beinmuskeltraining  Vibrationstraining

Zur Beurteilung des Erfolges, des bei Ihnen nun beginnenden Trainings, bitte ich Sie, die nachfolgenden Fragen zu beantworten, indem Sie auf der Skala von 0 bis 10 an der für Sie zutreffenden Stelle ein Kreuz/einen Strich machen.

1. Wie beurteilen Sie Ihre derzeitige Schwellung der Beine (Beinvolumen)?

0 = keine Schwellung

10 = maximal vorstellbare Schwellung



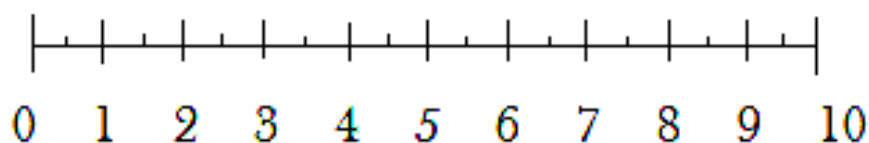
2. Wann ist die Schwellung in den Beinen am stärksten? (Mehrfachantworten möglich)

- im Sitzen
- im Stehen
- in Ruhe
- in Bewegung
- unter Temperatureinflüssen: warm  kalt
- am Morgen
- am Abend
- eigene Angaben: \_\_\_\_\_

3. Wie beurteilen Sie Ihre derzeitige Neigung zu „blauen Flecken“ (Blutunterlaufungen an den Beinen= Hämatomneigung)?

0 = geringe Hämatomneigung

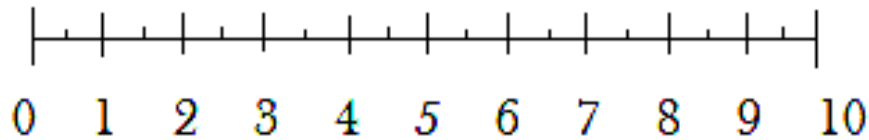
10 = sehr starke Hämatomneigung



- 
4. Wie beurteilen Sie Ihre derzeitige Mobilität in Bezug auf die Laufstreckenlänge und Ihre Ausdauer beim Laufen?

0 = geringe Laufleistung

10 = uneingeschränkte Laufleistung



- 
5. Haben Sie Schmerzen ( Zehen, Füße, Beine, Rücken.....)?

- nein (dann ist hier nun der Fragebogen für Sie beendet)  
 ja (wenn ja dann bitte weiter mit der nächsten Frage und den erweiterten Fragebogen für Schmerzen)

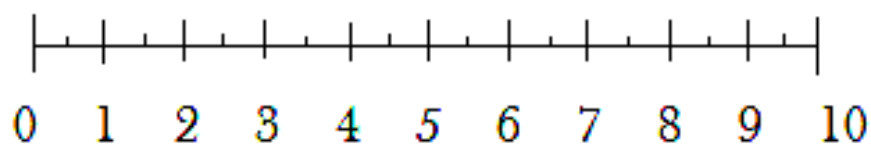
6. Wo haben Sie Schmerzen? (Mehrfachantworten möglich)

- in den Zehen                      linker Fuß     rechter Fuß   
 in den Füßen                      links     rechts   
 im Unterschenkel                links     rechts   
 im Knie                              links     rechts   
 im Oberschenkel                links     rechts   
 im Rücken  
 eigene Angaben: \_\_\_\_\_

7. Wie beurteilen Sie Ihre derzeitige Schmerzen in den Beinen/Füßen?

0 = keine Schmerzen

10 = maximal vorstellbare Schmerzen



- 
8. Weitere Fragen zum Thema Schmerz:

Wann haben Sie Schmerzen in Beinen/Zehen? (Mehrfachantworten möglich)

- in Ruhe  
 in Bewegung  
 in Ruhe und Bewegung  
 nur auf Druck  
 unter Temperatureinflüssen: warm  kalt   
 eigene Angaben: \_\_\_\_\_

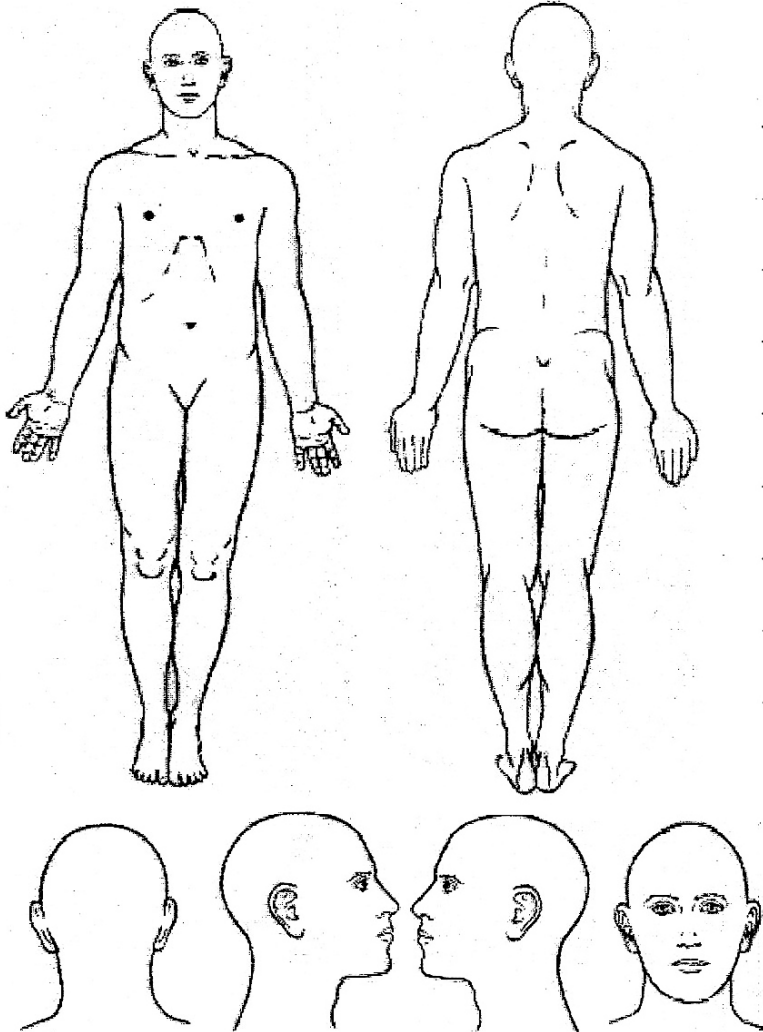
9. Weitere Fragen zum Thema Schmerzen entnehmen sie bitte dem gesonderten Fragebogen für Schmerzen auf der nächsten Seite.

Patient: \_\_\_\_\_ Datum beim Ausfüllen: 

Tag	Monat					Jahr	

1. Geburtsdatum: <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr><tr><td style="text-align: center; font-size: 8px;">Tag</td><td style="text-align: center; font-size: 8px;">Monat</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2" style="text-align: center; font-size: 8px;">Jahr</td></tr></table>									Tag	Monat					Jahr		Alter: _____ Jahre
Tag	Monat					Jahr											
2. Geschlecht: männlich <input type="radio"/>	weiblich <input type="radio"/>																
3. Körpergröße (cm): <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr></table>						4. Körpergewicht (kg): <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr></table>											

5. Bitte zeichnen Sie im Körperschema ein, an welchen Körperstellen Ihre Schmerzen auftreten



Bitte beschreiben Sie Ihre Schmerzen mit eigenen Worten:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

6. Wegen welcher Schmerzen kommen Sie hauptsächlich zur Behandlung? \_\_\_\_\_

7. a) Seit wann bestehen diese Schmerzen?

- |   |   |  |
|---|---|--|
| weniger als 1 Monat <input type="radio"/> | ½ Jahr bis 1 Jahr <input type="radio"/> | 2 bis 5 Jahre <input type="radio"/>    |
| 1 Monat bis ½ Jahr <input type="radio"/>  | 1 bis 2 Jahre <input type="radio"/>     | mehr als 5 Jahre <input type="radio"/> |

b) Können Sie ein genaues Datum angeben?

Tag	Monat					Jahr	

**Fragebögen zur U2**

Name: \_\_\_\_\_

Datum: . . 2008

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

**Einschätzung des Therapieerfolges im Rahmen der Studie :  
„Vibrationstraining bei Lipödem der Beine“**

Sehr geehrte Patientin!

Welche Therapie haben sie in den letzten 6 Wochen erhalten?

Therapie: Beinmuskeltraining

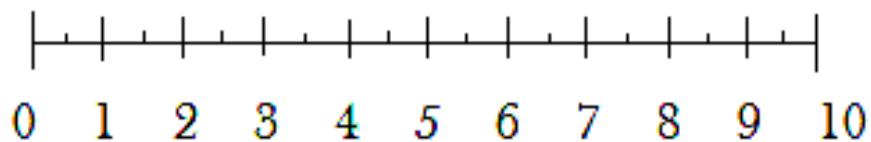
Vibrationstraining

Zur Beurteilung des durchgeführten Trainings bitte ich Sie, die nachfolgenden Fragen zu beantworten, indem Sie auf der Skala von 0 bis 10 an der für Sie zutreffenden Stelle ein Kreuz/einen Strich machen.

1. Wie beurteilen Sie Ihre derzeitige Schwellung der Beine (Beinvolumen)?

0 = keine Schwellung

10 = maximal vorstellbare Schwellung



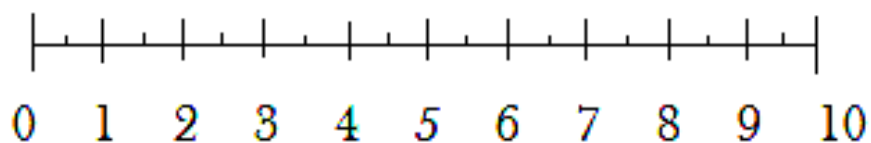
2. Wann ist die Schwellung in den Beinen am stärksten? (Mehrfachantworten möglich)

- im Sitzen
- im Stehen
- in Ruhe
- in Bewegung
- unter Temperatureinflüssen: warm  kalt
- am Morgen
- am Abend
- eigene Angaben: \_\_\_\_\_

3. Wie beurteilen Sie Ihre derzeitige Neigung zu „blauen Flecken“ (Blutunterlaufungen an den Beinen = Hämatomneigung)?

0 = geringe Hämatomneigung

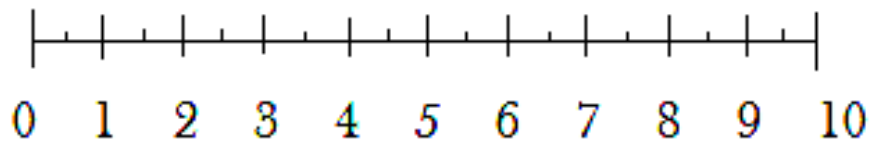
10 = sehr starke Hämatomneigung



- 
4. Wie beurteilen Sie Ihre derzeitige Mobilität in Bezug auf die Laufstreckenlänge und Ihre Ausdauer beim Laufen?

0 = geringe Laufleistung

10 = uneingeschränkte Laufleistung



- 
5. Haben Sie Schmerzen (Zehen, Füße, Beine, Rücken.....)?

- nein (dann ist hier nun der Fragebogen für Sie beendet)  
 ja (wenn ja dann bitte weiter mit der nächsten Frage und den erweiterten Fragebogen für Schmerzen)

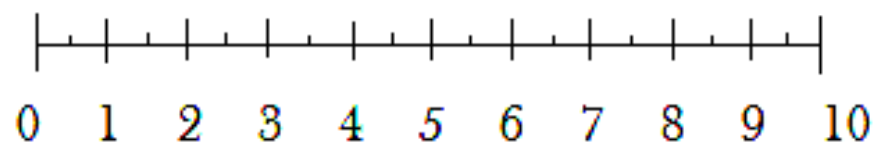
6. Wo haben Sie Schmerzen? (Mehrfachantworten möglich)

- in den Zehen                      linker Fuß     rechter Fuß   
 in den Füßen                      links     rechts   
 im Unterschenkel                links     rechts   
 im Knie                              links     rechts   
 im Oberschenkel                links     rechts   
 im Rücken  
 eigene Angaben: \_\_\_\_\_

7. Wie beurteilen Sie Ihre derzeitige Schmerzen in den Beinen/Füßen?

0 = keine Schmerzen

10 = maximal vorstellbare Schmerzen



- 
8. Weitere Fragen zum Thema Schmerz:

Wann haben Sie Schmerzen in Beinen/Zehen? (Mehrfachantworten möglich)

- in Ruhe  
 in Bewegung  
 in Ruhe und Bewegung  
 nur auf Druck  
 unter Temperatureinflüssen: warm  kalt   
 eigene Angaben: \_\_\_\_\_

9. Weitere Fragen zum Thema Schmerzen entnehmen sie bitte dem gesonderten Fragebogen für Schmerzen auf der nächsten Seite.

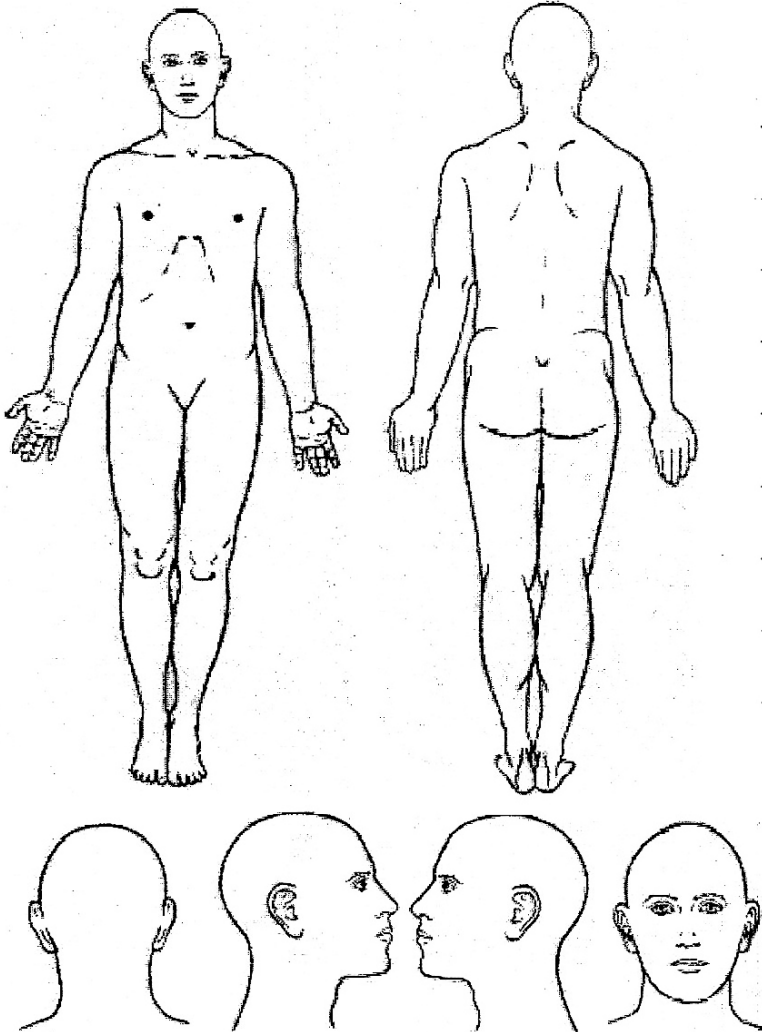


Patient: \_\_\_\_\_ Datum beim Ausfüllen: 

Tag	Monat					Jahr	

1. Geburtsdatum: <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr><tr><td style="text-align: center; font-size: 8px;">Tag</td><td style="text-align: center; font-size: 8px;">Monat</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2" style="text-align: center; font-size: 8px;">Jahr</td></tr></table>									Tag	Monat					Jahr		Alter: _____ Jahre
Tag	Monat					Jahr											
2. Geschlecht: männlich <input type="radio"/>	weiblich <input type="radio"/>																
3. Körpergröße (cm): <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr></table>						4. Körpergewicht (kg): <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr></table>											

5. Bitte zeichnen Sie im Körperschema ein, an welchen Körperstellen Ihre Schmerzen auftreten



Bitte beschreiben Sie Ihre Schmerzen mit eigenen Worten:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

6. Wegen welcher Schmerzen kommen Sie hauptsächlich zur Behandlung? \_\_\_\_\_

7. a) Seit wann bestehen diese Schmerzen?

weniger als 1 Monat <input type="radio"/>	½ Jahr bis 1 Jahr <input type="radio"/>	2 bis 5 Jahre <input type="radio"/>
1 Monat bis ½ Jahr <input type="radio"/>	1 bis 2 Jahre <input type="radio"/>	mehr als 5 Jahre <input type="radio"/>

b) Können Sie ein genaues Datum angeben? 

Tag	Monat					Jahr	

Name: \_\_\_\_\_

Datum: . . 2008

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

### Fragen zu Lebensumständen und Lebensqualität

1. erlernter Beruf

---

---

2. derzeitige Tätigkeit

---

---

3. Waren Sie auch während unserer Studie, zusätzlich zu unserem Training, sportlich aktiv?

- nein (dann weiter bei Frage 5)  
 ja

4. Welche körperlichen Aktivitäten führten Sie zusätzlich zu unserem Training während unsere Studie durch? (Bitte angeben seit wann!)

Sportliche Aktivität	Wie oft?	Wie lange?
1. _____ _____	<input type="checkbox"/> 1-2 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 2-3 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 3-4 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 5 Mal pro Woche	<input type="checkbox"/> < 30 min <input type="checkbox"/> 30 min <input type="checkbox"/> 30 min - 1 h <input type="checkbox"/> 1-2 h <input type="checkbox"/> 2-3 h
2. _____ _____	<input type="checkbox"/> 1-2 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 2-3 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 3-4 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 5 Mal pro Woche	<input type="checkbox"/> < 30 min <input type="checkbox"/> 30 min <input type="checkbox"/> 30 min - 1 h <input type="checkbox"/> 1-2 h <input type="checkbox"/> 2-3 h
3. _____ _____	<input type="checkbox"/> 1-2 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 2-3 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 3-4 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 5 Mal pro Woche	<input type="checkbox"/> < 30 min <input type="checkbox"/> 30 min <input type="checkbox"/> 30 min- 1 h <input type="checkbox"/> 1-2 h <input type="checkbox"/> 2-3 h

5. Welche Medikamente haben Sie während unserer Studie regelmäßig eingenommen?

---

---

---

---

Name: \_\_\_\_\_

Datum: . . 2008

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

6. Haben Sie während unserer Studie physiotherapeutische Behandlungen erhalten?

- nein  
 ja

7. Welche Behandlungen haben Sie während unserer Studie erhalten?  
(Bitte auch hier angeben seit wann!)

Physiotherapeutische Behandlungen	Wie oft?	Wie lange?
<b>Lymphdrainage:</b> _____	<input type="checkbox"/> 1 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 1-2 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 2 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 2-3 Mal pro Woche	<input type="checkbox"/> 30 min <input type="checkbox"/> 45 min <input type="checkbox"/> 60 min <input type="checkbox"/> 1-2 h
<b>andere physiotherapeutische Behandlungen:</b> _____	<input type="checkbox"/> 1-2 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 2-3 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 3-4 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 5 Mal pro Woche _____	<input type="checkbox"/> < 30 min <input type="checkbox"/> 30 min <input type="checkbox"/> 30 min- 1 h <input type="checkbox"/> 1-2 h <input type="checkbox"/> 2-3 h _____
<b>Kompressionsstrümpfe</b> _____	<input type="checkbox"/> täglich <input type="checkbox"/> 5 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 3-4 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 1-2 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> nur im Winter <input type="checkbox"/> nur bei Beschwerden <input type="checkbox"/> gelegentlich	<input type="checkbox"/> 1-2 h <input type="checkbox"/> 2-3 h <input type="checkbox"/> 3-4 h <input type="checkbox"/> Arbeitszeit (8h) <input type="checkbox"/> halben Tag (12h) <input type="checkbox"/> ganzen Tag (>12h)

8. Haben sie während der Trainingseinheiten Ihre Kompressionsstrümpfe getragen?

- nein  
 ja  
 manchmal (Datum/Training: \_\_\_\_\_)  
 während des Trainings damit angefangen (Datum/Training: \_\_\_\_\_)

9. Haben sie während unserer Studie eine Diät durchgeführt?

- nein (dann weiter bei Frage 13)  
 ja

Name: \_\_\_\_\_

Datum: . . 2008

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

10. Um welche Diät handelte es sich dabei?

- Trennkost
- Mischkost
- vegetarische Ernährung
- Weight-Watchers Konzept
- mehr Obst und Gemüse
- Low Fat Diät
- Fasten
- weniger Süßes essen
- eigene Angabe: \_\_\_\_\_

11. Wie lange haben Sie diese Diät während unserer Studie durchgeführt:

- täglich während der gesamten Studie für 6 Wochen
- 1-2 Woche/n
- 2-3 Wochen
- 3-4 Wochen
- 4-5 Wochen
- gelegentlich \_\_\_\_\_

12. Bitte erklären Sie hier genauer wie Sie Ihre Diät durchgeführt haben?

---

---

---

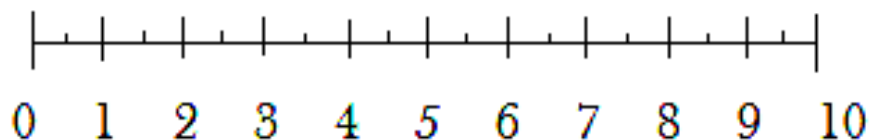
13. Beurteilung des Therapieerfolges

Wie beurteilen sie den Erfolg der Therapie d. h. die Verbesserung Ihrer Schmerzen und der Schwellungen in ihren Beinen sowie Ihrer Neigung zu blauen Flecken?

1. Wie beurteilen Sie die Verbesserung der Schwellung der Beine (Beinvolumen)?

0 = keine Abnahme der Schwellung

10 = starke Schwellungsabnahme



Name: \_\_\_\_\_

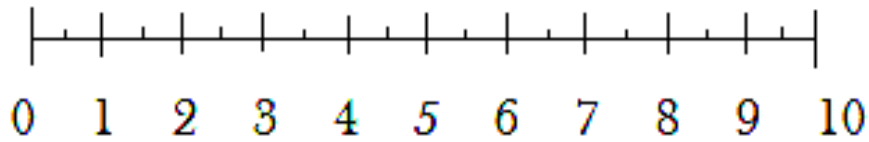
Datum: . . 2008

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

2. Wie beurteilen Sie die Abnahme der Schmerzen in den Beinen/Füßen?

0 = keine Schmerzlinderung

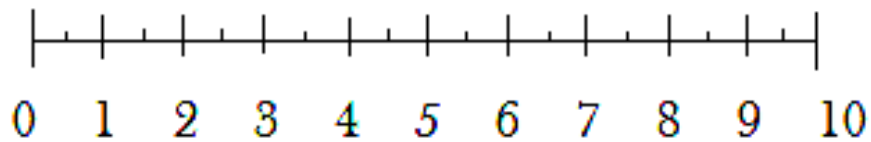
10 = starke Schmerzlinderung



3. Wie beurteilen Sie die Verbesserung der Neigung zu „blauen Flecken“ (Blutunterlaufungen an den Beinen= Hämatomneigung)?

0 = keine Verbesserung

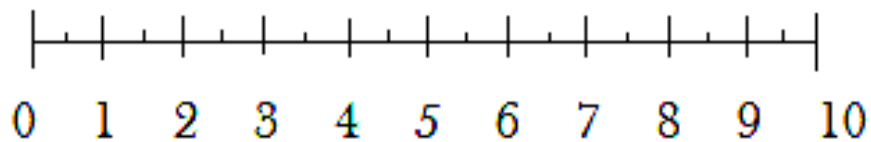
10= starke Verbesserung



4. Wie beurteilen Sie Ihre Verbesserung der Mobilität in Bezug auf die Gehstreckenlänge und Ihre Ausdauer beim Laufen?

0 = keine Verbesserung

10 = starke Verbesserung



Name: \_\_\_\_\_

Datum: . . 2008

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

### Fragen zum durchgeführten Training

Sehr geehrte Patientin!

Welche Therapie haben sie in den letzten 6 Wochen erhalten?

Therapie: Beinmuskeltraining  Vibrationstraining

An dieser Stelle bitte ich Sie, sich zu der von Ihnen absolvierten Therapie zu äußern in Bezug auf die Effektivität, die Qualität und Ihren persönlichen Nutzen, den Sie aus der Therapie gezogen haben. Weiterhin freuen wir uns sehr über Ihre Anregungen und Verbesserungsvorschläge zur Optimierung der Therapie Ihrer Erkrankung!

#### Effektivität der Therapie:

**Wurden Ihre persönlichen Erwartungen der Therapie erfüllt?**

---

---

---

#### Qualität der Therapie:

**Wie bewerten sie die Trainingsdurchführung?**

---

---

---

---

**Ihr persönlicher Erfolg der Therapie bezogen auf die Linderung der Beschwerden?**

---

---

---

---

**Verbesserungsvorschläge, Anregungen und weitere Kommentare?**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Fragebögen zur U3**

Name: \_\_\_\_\_

Datum: . . 2008

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

### Fragen zu Lebensumständen und Lebensqualität

1. Welche körperliche Aktivitäten führten Sie in den letzten 6 Wochen durch?  
(ausgenommen dem Beinmuskeltraining der Beinmuskelgruppe)

Sportliche Aktivität	Wie oft?	Wie lange?
1. _____	<input type="checkbox"/> 1-2 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 2-3 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 3-4 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 5 Mal pro Woche	<input type="checkbox"/> < 30 min <input type="checkbox"/> 30 min <input type="checkbox"/> 30 min - 1 h <input type="checkbox"/> 1-2 h <input type="checkbox"/> 2-3 h
2. _____	<input type="checkbox"/> 1-2 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 2-3 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 3-4 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 5 Mal pro Woche	<input type="checkbox"/> < 30 min <input type="checkbox"/> 30 min <input type="checkbox"/> 30 min- 1 h <input type="checkbox"/> 1-2 h <input type="checkbox"/> 2-3 h
3. _____	<input type="checkbox"/> 1-2 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 2-3 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 3-4 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 5 Mal pro Woche	<input type="checkbox"/> < 30 min <input type="checkbox"/> 30 min <input type="checkbox"/> 30 min- 1 h <input type="checkbox"/> 1-2 h <input type="checkbox"/> 2-3 h

2. Welche Medikamente haben Sie während unserer Studie regelmäßig eingenommen?

---



---



---



---

3. Wie oft und wie lange haben Sie in den letzten 6 Wochen Ihre Kompressionsstrümpfe getragen?

<input type="checkbox"/> täglich <input type="checkbox"/> 5 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 3-4 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 1-2 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> nur im Winter <input type="checkbox"/> nur bei Beschwerden <input type="checkbox"/> gelegentlich	<input type="checkbox"/> 1-2 h <input type="checkbox"/> 2-3 h <input type="checkbox"/> 3-4 h <input type="checkbox"/> Arbeitszeit (8h) <input type="checkbox"/> halben Tag (12h) <input type="checkbox"/> ganzen Tag (>12h)
---	--



4. Welche physiotherapeutische Behandlungen haben sie in den letzten 6 Wochen erhalten?

Physiotherapeutische Behandlungen	Wie oft?	Wie lange?
<b>Lymphdrainage:</b> _____	<input type="checkbox"/> 1 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 1-2 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 2 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 2-3 Mal pro Woche	<input type="checkbox"/> 30 min <input type="checkbox"/> 45 min <input type="checkbox"/> 60 min <input type="checkbox"/> 1-2 h
<b>Andere Physiotherapeutische Behandlung:</b> _____	<input type="checkbox"/> 1-2 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 2-3 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 3-4 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 5 Mal pro Woche _____	<input type="checkbox"/> < 30 min <input type="checkbox"/> 30 min <input type="checkbox"/> 30 min- 1 h <input type="checkbox"/> 1-2 h <input type="checkbox"/> 2-3 h _____
<b>Andere Physiotherapeutische Behandlung:</b> _____	<input type="checkbox"/> 1-2 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 2-3 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 3-4 Mal pro Woche <input type="checkbox"/> 5 Mal pro Woche _____	<input type="checkbox"/> < 30 min <input type="checkbox"/> 30 min <input type="checkbox"/> 30 min- 1 h <input type="checkbox"/> 1-2 h <input type="checkbox"/> 2-3 h _____

5. Hatten Sie in den letzten 6 Wochen einen Klinik-oder Rehaaufenthalt?

- Nein
- Ja (bitte näher beschreiben: wo, wie lange, welche Behandlungen)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

6. Haben sie während unserer Studie eine Diät durchgeführt?

- Nein (dann weiter mit der Frage 9)
- Ja

---

7. Um welche Diät handelte es sich dabei?

- Trennkost
- Mischkost
- vegetarische Ernährung
- Weight-Watchers Konzept
- mehr Obst und Gemüse
- Low Fat Diät
- weniger Süßes essen
- eigene Angabe: \_\_\_\_\_

8. Bitte erklären Sie hier genauer wie Sie Ihre Diät durchgeführt haben?

---

---

---

9. Beurteilung des Therapieerfolges

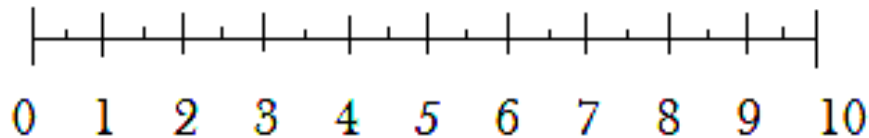
Wie beurteilen sie den Erfolg der Therapie d.h. die Verbesserung Ihrer Schmerzen und der Schwellungen in ihren Beinen sowie Ihrer Neigung zu blauen Flecken?

---

1. Wie beurteilen Sie die Verbesserung der Schwellung der Beine (Beinvolumen)?

0 = keine Abnahme der Schwellung

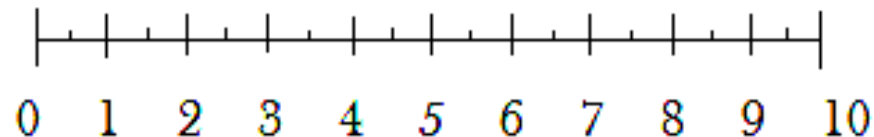
10 = starke Schwellungsabnahme



2. Wie beurteilen Sie die Abnahme der Schmerzen in den Beinen/Füßen?

0 = keine Schmerzlinderung

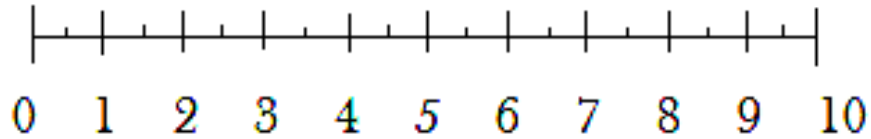
10 = starke Schmerzlinderung



- 
3. Wie beurteilen Sie die Verbesserung der Neigung zu „blauen Flecken“ (Blutunterlaufungen an den Beinen= Hämatomneigung)?

0 = keine Verbesserung

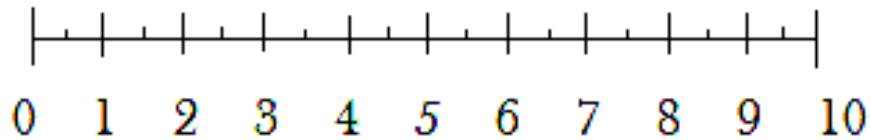
10= starke Verbesserung



- 
4. Wie beurteilen Sie Ihre Verbesserung der Mobilität in Bezug auf die Gehstreckenlänge und Ihre Ausdauer beim Laufen?

0 = keine Verbesserung

10 = starke Verbesserung



Name: \_\_\_\_\_

Datum: . . 2008

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

**Fragebogen zum Abschluss der Studie:  
„Vibrationstraining bei Lipödem der Beine“**

Sehr geehrte Patientin!

Welche Therapie haben sie im Rahmen unserer Studie erhalten?

Therapie: Beinmuskeltraining  Vibrationstraining

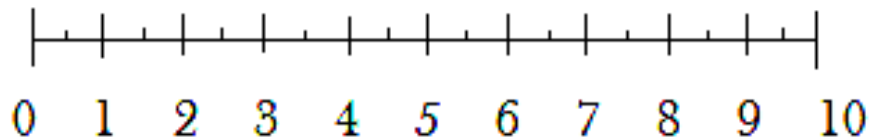
---

Zur Beurteilung Ihres momentanen Krankheitszustandes bitte ich Sie, die nachfolgenden Fragen zu beantworten, indem Sie auf der Skala von 0 bis 10 an der für Sie zutreffenden Stelle ein Kreuz machen.

1. Wie beurteilen Sie Ihre derzeitige Schwellung der Beine (Beinvolumen)?

0 = keine Schwellung

10 = maximal vorstellbare Schwellung



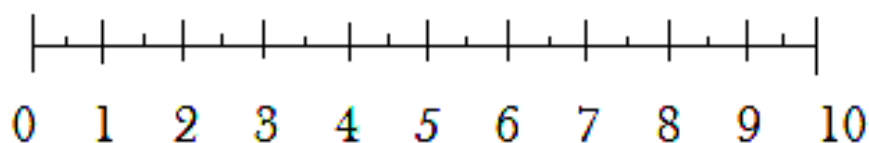
2. Wann ist die Schwellung in den Beinen am stärksten? (Mehrfachantworten möglich)

- im Sitzen
  - im Stehen
  - in Ruhe
  - in Bewegung
  - unter Temperatureinflüssen: warm  kalt
  - am Morgen
  - am Abend
  - eigene Angaben: \_\_\_\_\_
- 

3. Wie beurteilen Sie Ihre derzeitige Neigung zu „blauen Flecken“ (Blutunterlaufungen an den Beinen= Hämatomneigung)?

0 = geringe Hämatomneigung

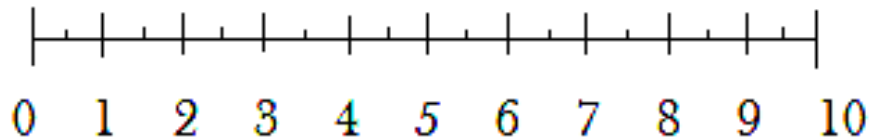
10 = sehr starke Hämatomneigung



- 
4. Wie beurteilen Sie Ihre derzeitige Mobilität in Bezug auf die Laufstreckenlänge und Ihre Ausdauer beim Laufen?

0 = geringe Laufleistung

10 = uneingeschränkte Laufleistung



- 
5. Haben Sie Schmerzen ( Zehen, Füße, Beine, Rücken.....)?

- nein (dann ist hier nun der Fragebogen für Sie beendet)  
 ja (wenn ja dann bitte weiter mit der nächsten Frage und den erweiterten Fragebogen für Schmerzen)

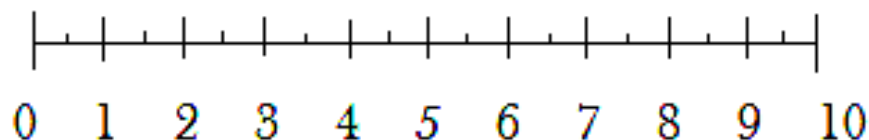
6. Wo haben Sie Schmerzen? (Mehrfachantworten möglich)

- in den Zehen                      linker Fuß     rechter Fuß   
 in den Füßen                      links     rechts   
 im Unterschenkel                links     rechts   
 im Knie                              links     rechts   
 im Oberschenkel                links     rechts   
 im Rücken  
 eigene Angaben: \_\_\_\_\_

7. Wie beurteilen Sie Ihre derzeitige Schmerzen in den Beinen/Füßen?

0 = keine Schmerzen

10 = maximal vorstellbare Schmerzen



- 
8. Weitere Fragen zum Thema Schmerz:

Wann haben Sie Schmerzen in Beinen/Zehen? (Mehrfachantworten möglich)

- in Ruhe  
 in Bewegung  
 in Ruhe und Bewegung  
 nur auf Druck  
 unter Temperatureinflüssen: warm     kalt   
 eigene Angaben: \_\_\_\_\_

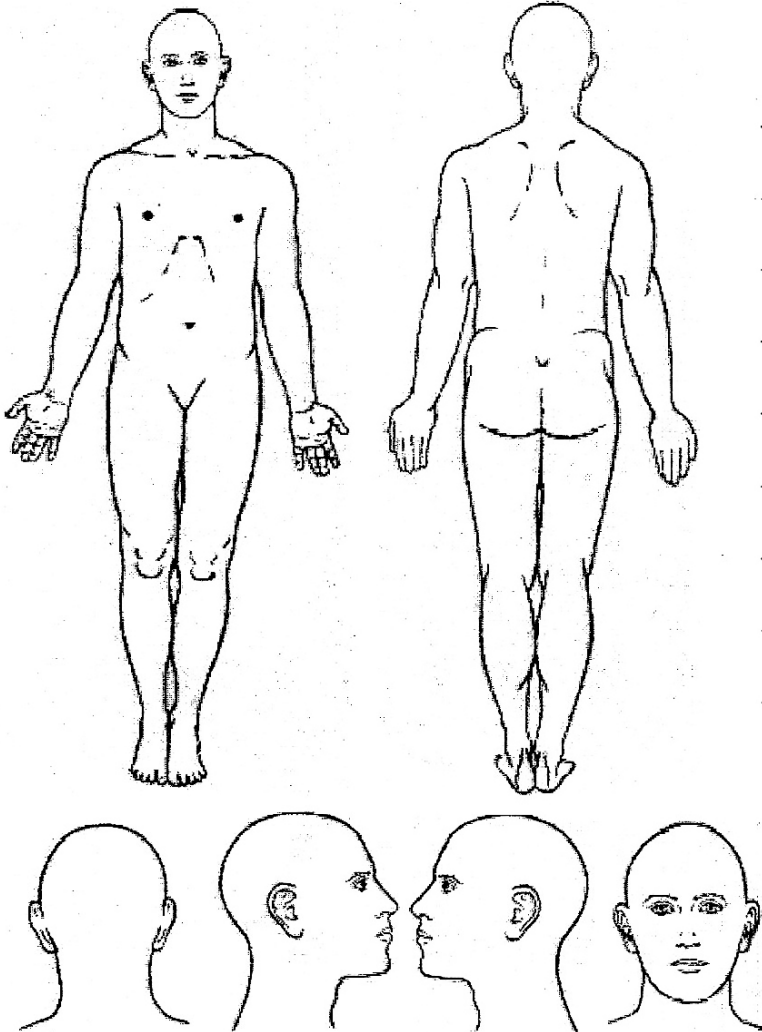
9. Weitere Fragen zum Thema Schmerzen entnehmen sie bitte dem gesonderten Fragebogen für Schmerzen auf der nächsten Seite.

Patient: \_\_\_\_\_ Datum beim Ausfüllen: 

Tag	Monat					Jahr	

1. Geburtsdatum: <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr><tr><td style="text-align: center; font-size: 8px;">Tag</td><td style="text-align: center; font-size: 8px;">Monat</td><td colspan="4"></td><td style="text-align: center; font-size: 8px;">Jahr</td></tr></table>									Tag	Monat					Jahr	Alter: _____ Jahre
Tag	Monat					Jahr										
2. Geschlecht: männlich <input type="radio"/>	weiblich <input type="radio"/>															
3. Körpergröße (cm): <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr></table>						4. Körpergewicht (kg): <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr></table>										

5. Bitte zeichnen Sie im Körperschema ein, an welchen Körperstellen Ihre Schmerzen auftreten



Bitte beschreiben Sie Ihre Schmerzen mit eigenen Worten:


6. Wegen welcher Schmerzen kommen Sie hauptsächlich zur Behandlung? \_\_\_\_\_

7. a) Seit wann bestehen diese Schmerzen?

- |   |   |  |
|---|---|--|
| weniger als 1 Monat <input type="radio"/> | ½ Jahr bis 1 Jahr <input type="radio"/> | 2 bis 5 Jahre <input type="radio"/>    |
| 1 Monat bis ½ Jahr <input type="radio"/>  | 1 bis 2 Jahre <input type="radio"/>     | mehr als 5 Jahre <input type="radio"/> |

b) Können Sie ein genaues Datum angeben? 

Tag	Monat					Jahr	



## **Untersuchungs- und Messbögen**

### **Gehtest**





**Dolorimetermessbogen**

Studie „Vibrationstraining bei Lipödem der Beine“	Doktorandin: Dana Schwarze
Messpunktprotokoll für Schmerzmessung (Dolorimeter): linkes Bein	Seite I von V

Name:

Vorname:

Geburtsdatum:

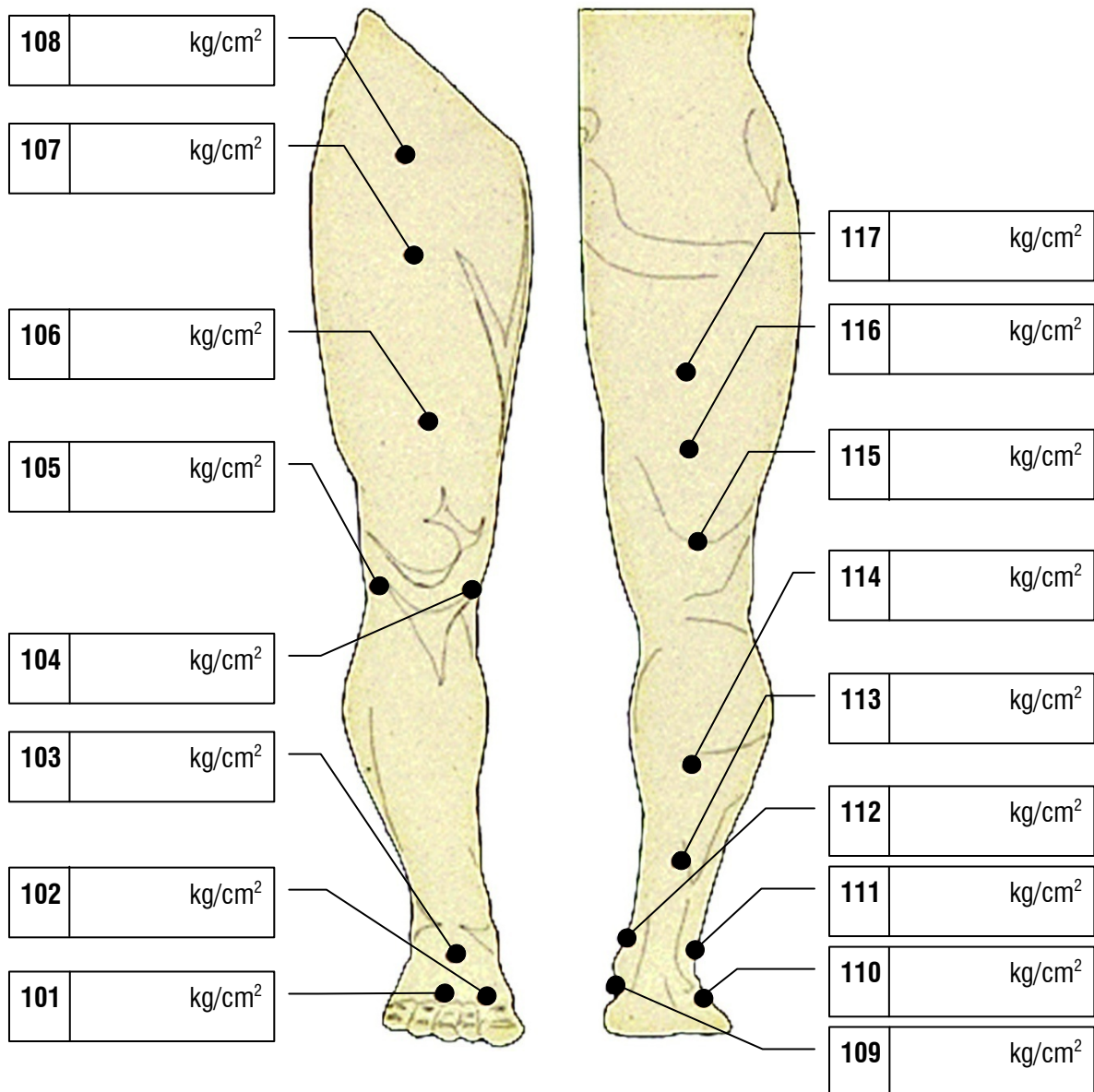
Untersuchungszeitpunkt:

1. Untersuchung  
 2. Untersuchung  
 3. Untersuchung

Datum: . .2008

Datum: . .2008

Datum: . .2008



<b>Studie „Vibrationstraining bei Lipödem der Beine“</b>	<b>Doktorandin: Dana Schwarze</b>
<b>Messpunktprotokoll für Schmerzmessung (Dolorimeter): linkes Bein</b>	<b>Seite II von V</b>

**Name:**

**Vorname:**

**Geburtsdatum:**

**Untersuchungszeitpunkt:**

1. Untersuchung

**Datum:** . .2008

2. Untersuchung

**Datum:** . .2008

3. Untersuchung

**Datum:** . .2008

<b>linkes Bein</b>	
<b>Messpunkt- nummer</b>	<b>Bemerkungen</b>
101	
103	
105	
107	
109	
111	
113	
115	
102	
104	
106	
108	
110	
112	
114	
116	
118	

Vibrationstraining beim Lipödem	Doktorantin: Dana Schwarze
Messpunktprotokoll für Schmerzmessung (Dolorimeter): linkes Bein	Seite III von V

Name:

Vorname:

Geburtsdatum:

Untersuchungszeitpunkt:

1. Untersuchung

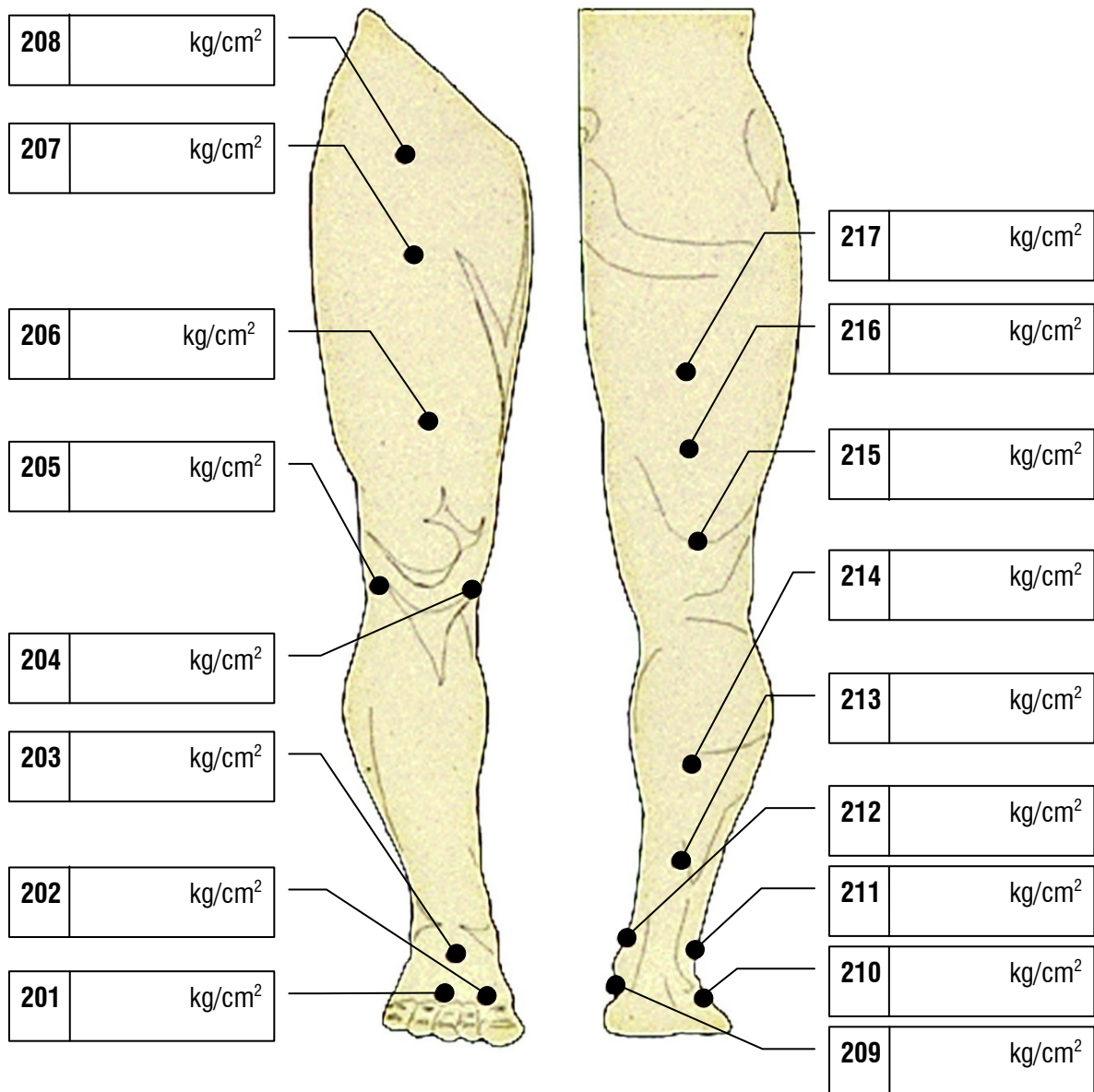
2. Untersuchung

3. Untersuchung

Datum: . .2008

Datum: . .2008

Datum: . .2008



Vibrationstraining beim Lipödem	Doktorantin: Dana Schwarze
Messpunktprotokoll für Schmerzmessung (Dolorimeter): rechtes Bein	Seite IV von V

Name:

Vorname:

Geburtsdatum:

Untersuchungszeitpunkt:

1. Untersuchung

Datum: . .2008

2. Untersuchung

Datum: . .2008

3. Untersuchung

Datum: . .2008

r e c h t e s   B e i n	
Messpunkt- nummer	Bemerkungen
201	
203	
205	
207	
209	
211	
213	
215	
202	
204	
206	
208	
210	
212	
214	
216	
218	

## **Beschreibung der Messpunkte der Dolorimetermessung der Beine**

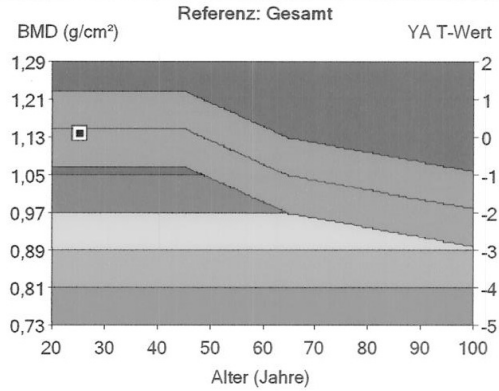
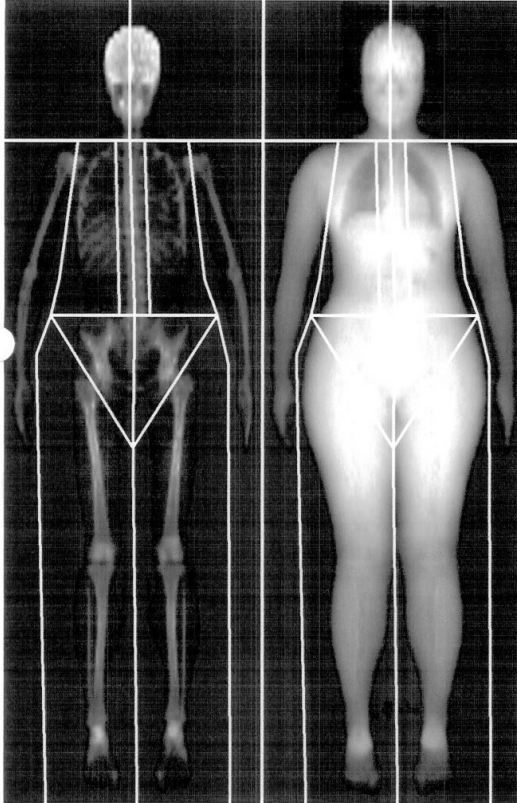
- **Punkt 01:** zwischen den caputia ossea metatarsalia III und IV auf der Dorsalseite des Vorfußes
- **Punkt 02:** zwischen den caputia ossea metatarsalia I und II auf der Dorsalseite des Vorfußes
- **Punkt 03:** 5 cm unterhalb der Verbindungslinie der Malleolen in der Mitte des Fußes
- **Punkt 04:** 1 cm lateral der Basis patellae beim entspannt liegenden Patienten
- **Punkt 05:** 1 cm medial der Basis patellae beim entspannt liegenden Patienten
- **Punkt 06:** bei 2/6 der Strecke von der Mitte der Basis patellae und der Spina iliaca ant. sup.
- **Punkt 07:** bei 4/6 der Strecke von der Mitte der Basis patellae und der Spina iliaca ant. sup.
- **Punkt 08:** bei 5/6 der Strecke von Mitte der Basis patellae und der Spina iliaca ant. sup.
- **Punkt 09:** unmittelbar unterhalb des Malleolus mediales
- **Punkt 10:** unmittelbar unterhalb des Malleolus laterales
- **Punkt 11:** 3 cm oberhalb des Malleolus laterales
- **Punkt 12:** 3 cm oberhalb des Malleolus mediales
- **Punkt 13:** 1/3 unterhalb der Hälfte der Strecke zwischen der fossa poplitea und der Malleolen in Verlängerung der Achillessehne
- **Punkt 14:** 1/3 oberhalb der Hälfte der Strecke zwischen der fossa poplitea und der Malleolen in Verlängerung der Achillessehne
- **Punkt 15:** bei 1/4 auf der mittigen Verbindungslinie zwischen der fossa poplitea und dem Unterrand des M.gluteus maximus
- **Punkt 16:** bei 2/4 auf der mittigen Verbindungslinie zwischen der fossa poplitea und dem Unterrand des M.gluteus maximus
- **Punkt 17:** bei 3/4 auf der mittigen Verbindungslinie zwischen der fossa poplitea und dem Unterrand des M.gluteus maximus

**DXA-Untersuchungsexemplar**



**Charite Campus Benjamin Franklin**  
**Zentrum f. Muskel- und Knochenforschung**  
**Hindenburgdamm 30 - 12200 Berlin-Tel.: 030-8445 3040**

Ganzkörper Knochendichte



Bereich	<sup>1</sup>		<sup>2</sup>		<sup>3</sup>	
	BMD (g/cm <sup>2</sup> )	Junge Erw. (%)	T-Wert	Altersvergl. (%)	Z-Wert	
Kopf	2,373	-	-	-	-	
Arme	0,868	-	-	-	-	
Beine	1,145	-	-	-	-	
Rumpf	0,814	-	-	-	-	
Rippen	0,598	-	-	-	-	
Becken	1,013	-	-	-	-	
Wirbelsäule	0,908	-	-	-	-	
<b>Gesamt</b>	<b>1,133</b>	<b>101</b>	<b>0,1</b>	<b>99</b>	<b>-0,1</b>	

Kommentare:

Bild nicht für Diagnosezwecke

Gedruckt: 18.02.2008 08:53:49 (9,30)76:0,15:153,04:31,4 0,00:-1,00  
 4,81x13,01 13,4:%Fett=45,0%  
 0,00:0,00 0,00:0,00  
 Dateiname: q2ffvj2skv.dfb  
 Scanmodus: Standard 0,4 µGy

<sup>1</sup> - Laut Statistik sind 68% der Folge-Scans im Bereich von 1SA ( $\pm 0,010$  g/cm<sup>2</sup> für Ganzkörper Gesamt)

<sup>2</sup> - Deutschland (Alter 20-40) Ganzkörper Referenzbevölkerung (v105)

<sup>3</sup> - Übereinstimmung nach Alter, Gewicht (Frauen 25-100 kg), Ethnische

**Charite Campus Benjamin Franklin**  
**Zentrum f. Muskel- und Knochenforschung**  
**Hindenburgdamm 30 - 12200 Berlin-Tel.: 030-8445 3040**

---

**KÖRPERZUSAMMENSETZUNG**

<b>Bereich</b>	<b>Gewebe (%Fett)</b>	<b>Bereich (%Fett)</b>	<b>Gewebe (g)</b>	<b>Fett (g)</b>	<b>Mager (g)</b>	<b>BMC (g)</b>	<b>Ges.-Masse (kg)</b>
Linker Arm	39,0	37,5	3.211	1.252	1.959	128	-
Linkes Bein	53,4	51,9	14.577	7.787	6.789	431	-
Linker Rumpf	41,6	40,7	14.335	5.967	8.369	309	-
Ganzkörper Li.	44,9	43,4	34.625	15.546	19.079	1.205	-
Rechter Arm	39,0	37,5	3.332	1.300	2.033	138	-
Rechtes Bein	53,4	51,8	14.476	7.733	6.743	446	-
Rechter Rumpf	41,7	40,8	14.031	5.844	8.187	309	-
Ganzkörper Re.	45,1	43,7	33.968	15.336	18.632	1.155	-
Arme	39,0	37,5	6.543	2.552	3.991	266	-
Beine	53,4	51,9	29.052	15.520	13.532	877	-
Rumpf	41,6	40,7	28.366	11.811	16.555	618	-
Android	47,4	46,9	4.014	1.901	2.113	39	-
Gynoid	56,3	55,4	11.718	6.602	5.116	191	-
Gesamt	45,0	43,5	68.592	30.882	37.711	2.360	71,0

**FETTMASSE-VERHÄLTNISSE**

<b>Rumpf/ Gesamt</b>	<b>Beine/ Gesamt</b>	<b>(Arme+Beine)/ Rumpf</b>
0,38	0,50	1,53

**Perometerexemplar**

Perometer-Messung vom: 19.02.2008 15:20:22

Volumenberechnung im Bereich von 53 mm bis 729 mm

	linkes Bein 10852 ml			rechtes Bein 10847 ml	
	Länge	Umfang		Umfang	Länge
IT	0.0	cT 0.0		v. Leibteil:	0.0
IH	0.0	cH 0.0		h. Leibteil:	0.0
IK	0.0	cK 0.0			
IG	77.2	cG 65.9		0.0	cG 0.0
IF	67.8	cF 59.1		60.3	cF 68.0
IE	56.9	cE 50.2		50.0	cE 57.0
ID	45.5	cD 40.8		41.0	cD 45.6
IC	33.1	cC 39.3		38.8	cC 33.2
IB1	20.7	cB1 30.8		30.2	cB1 20.8
IB	8.8	cB 22.9		22.9	cB 8.8
o.Sp	0.0	cY 0.0		0.0	cY 0.0
m.Sp	0.0	cA 0.0		0.0	cA 0.0

---

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei meiner Familie für alles bedanken, was sie mir in meinem Leben ermöglicht hat sowie für die liebevolle Unterstützung beim Erreichen all meiner Ziele.

Ein besonderer Dank gilt meiner Mama und meiner Oma für das Korrekturlesen und die Bereitstellung als Fotomodell für die Trainingsbroschüre, Björn für die Beratung bei der Gestaltung und Form dieser Arbeit sowie meinem Onkel Wolfram für die Hilfestellung bei Fragen zu Rechtschreibung und Grammatik. Ronny und meinem Papa danke ich besonders für die Unterstützung beim Verständnis der technischen und physikalischen Hintergründe. (Ronny, big thanks to you in English because I know that this line gonna be the only part of my dissertation you are able to read :) ).

Weiterhin möchte ich auch noch Silke Jahr danken, die mir trotz der Ferne per E-Mail weiterhin mit Rat zur Seite stand sowie der Oberärztin Frau Reißhauer für die Unterstützung bei der Überarbeitung dieser Dissertation.

---

## **Erklärung**

„Ich, Dana Schwarze, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: Vibrationstraining bei Lipödem der Beine selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Datum

Unterschrift

---

## **Lebenslauf**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.