

# **Die Wirkung elektromagnetischer Stimulationsreize auf die menschliche Skelettmuskulatur.**

## **Projektbericht.**

Dr. Günther Penka

Thomas Bösl

Tobias Pylypiw

## Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Zusammenfassung .....</b>                           | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>Einleitung.....</b>                                 | <b>5</b>  |
| <b>3</b> | <b>Problemstellung .....</b>                           | <b>5</b>  |
| <b>4</b> | <b>Methodik.....</b>                                   | <b>7</b>  |
| <b>5</b> | <b>Ergebnisse.....</b>                                 | <b>13</b> |
| <b>6</b> | <b>Diskussion .....</b>                                | <b>35</b> |
| <b>7</b> | <b>Schlussbemerkung, Ausblick und Empfehlung .....</b> | <b>38</b> |
| <b>8</b> | <b>Literatur.....</b>                                  | <b>45</b> |

## **1. Zusammenfassung**

Übergeordnetes Ziel im Rahmen einer Untersuchungsreihe war es, die Wirkung eines neuentwickelten Magnetstimulationsgerätes im Auftrag der Prof. Dr. Fischer AG aus trainingswissenschaftlicher Sicht zu evaluieren. Dieses Gerät, in Form eines Stuhles (QRS® 1010 Pelvicenter®), dient der Stimulation der Beckenbodenmuskulatur und, resultierend daraus, der Behandlung von Beckenbodenschwächen und -erkrankungen.

Nach einem Eruiieren der generellen Wirkungsweise des Trainingsgerätes auf die menschliche Muskulatur sollten in einem zweiten Schritt Rückschlüsse auf Empfehlungen für die praktische Anwendung des Verfahrens ermöglicht werden, um unter ökonomischen Aspekten höchstmögliche Trainingseffekte i. S. der zu Behandelnden zu erlangen.

Das nachstehend beschriebene Projekt untersucht die Effekte unterschiedlicher Belastungsumfänge eines Magnetstimulationstrainings auf die Unterschenkelmuskulatur unter dem Gesichtspunkt der Auswirkungen auf die Maximalkraftfähigkeiten. Ergänzend dazu wurde das Auftreten von möglichen Hypertrophieeffekten geprüft.

Insgesamt umfasste die Versuchsgruppe 105 männliche Teilnehmer, aufgeteilt in drei Interventionsgruppen (jeweils n=24) und eine Kontrollgruppe (n=33). Über einen Zeitraum von sechs Wochen unterzogen sich die 72 Probanden der Interventionsgruppen zweimal wöchentlich einer Magnetstimulation ihres anfangs schwächeren Beines.

Während die Kontrollgruppe keine Stimulation erfuhr, unterschied sich das Trainingsprotokoll der anderen drei Gruppen lediglich im Belastungsumfang (Dauer einer Trainingseinheit). Bei der ersten Gruppe betrug der Umfang bzw. die Gesamtdauer einer Trainingseinheit (inklusive Serien- und Satzpausen) 7 Minuten, bei der zweiten Gruppe 14 Minuten und bei der dritten Gruppe 21 Minuten.

Die maximale Kraftfähigkeit der betreffenden Muskulatur wurde isometrisch als Drehmomentwert der Fußgelenksstrecker (Plantarflexion) erhoben. Mögliche Hypertrophieeffekte wurden durch Umfangsmessungen am Unterschenkel geprüft. Stimuliert wurde jeweils nur ein Bein. Geprüft wurden jedoch bei beiden Beinen Kraftentwicklung und Unterschenkelumfang.

Die Interventionsgruppen unterzogen sich einer Eingangsmessung, einer Zwischenmessung und einer Ausgangsmessung, während die Kontrollgruppe nur an einem Eingangs- und Ausgangstest teilnahm.

Im Rahmen dieser Untersuchung konnten keine Hypertrophieeffekte nachgewiesen werden.

Die erhobenen Maximalkraftwerte zeigten bei allen drei Ausprägungen der Variable Belastungsumfang eine Erhöhung der maximalen isometrischen Kraftleistung. Alle drei Übungsgruppen steigerten sich hoch signifikant ( $p=0,0001$ ). Die Übungsgruppen eins und drei (7min u. 21min) steigerten ihre mittleren Kraftwerte um 15,4% und 18,4%. Die höchste Steigerung wies die Übungsgruppe 2 (14min) mit 19,3% ( $p<0,0001$ ) auf. Die Kontrollgruppe, welche keine Magnetstimulation erfuhr, veränderte sich nicht signifikant um 0,61% im Untersuchungszeitraum.

Schlussfolgernd kann man von einer deutlichen Wirkung eines Stimulationstrainings an der Fußstreckmuskulatur bei gesunden, jungen, männlichen Probanden mithilfe des vorliegenden Gerätes ausgehen. Bereits eine 7-minütige Reizzufuhr über insgesamt 12 Trainingseinheiten zeigte maßgebliche Effekte auf die Kraftleistung. Durch eine Verdoppelung des Umfanges kann die Wirkung sogar noch signifikant gesteigert werden. Eine weitere Umfangserhöhung birgt keine relevanten Zugewinne bei der behandelten Muskulatur. Eine Anwendung bei pathologisch abgeschwächter Muskulatur – wie u. a. vorgesehen – lässt normalerweise noch stärkere Effekte erwarten.

## **2. Einleitung**

Im Rahmen einer Auftragsforschung zum Thema Muskelstimulation durch elektromagnetische Felder wurde die sportmedizinische Fachabteilung des Institutes für Sportwissenschaft und Sport der Universität der Bundeswehr München damit betraut, in mehreren Schritten die Wirkungsweise eines speziell entwickelten Gerätes zur Stimulation der menschlichen Muskulatur zu erfassen und erste Empfehlungen zur trainingswissenschaftlich effektiven Dosierung zu ermitteln.

## **3. Problemstellung**

Ein neukonstruiertes Stimulationsgerät in Form eines Behandlungsstuhles soll u. a. zu medizinisch-therapeutischen Behandlungen von Inkontinenzbeschwerden und bei Schwächen der Beckenbodenmuskulatur eingesetzt werden. Die unter der Sitzfläche integrierte Spulenanordnung erzeugt hierbei ein auf die Sitzfläche gerichtetes, elektromagnetisches Feld, welches die in ihrem Wirkungsfeld befindliche Muskulatur zur Kontraktion bringt.

In Voruntersuchungen wurden bereits durch Penka und Pylypiw (2010) Effekte des Magnetfeldes auf die Wadenmuskulatur mittels Sonographie aufgezeigt. Dabei ging es neben der generellen Darstellung einer Wirkung dieser Stimulationsart vordergründig darum, ab welcher Intensität sichtbare Reaktionen der behandelten Muskulatur, ähnlich einer willkürlichen Kontraktion, in Erscheinung treten. Diese Feststellung ist deshalb von Bedeutung, da das Stimulationsgerät eine sehr variable Bandbreite der Reizintensität hinsichtlich Impulsfrequenz und Feldstärke zulässt (vgl. dazu Koch & Weiland). Ferner besteht ein ökonomisch-nachhaltiges Interesse daran, mit möglichst wenig Aufwand (Auslastung und Verschleiß der Spule, zeitlicher Umfang einer potentiellen Behandlung) einen therapeutisch relevanten Effekt zu erzielen. In der Auswertung der sonographischen Aufzeichnungen unter dem Stimulationseinfluss wurden objektive Muskelreaktionen bei jeder getesteten Frequenz (5 – 50 Hz) festgestellt. Subjektive Wirkungen konnten sogar bei jeder Frequenz und einstellbaren Intensität (20% – 100%) erzielt werden. Im Abgleich mit den maximalen Willkürkontraktionen lassen jedoch erst Intensitäten ab 60% und Frequenzen ab 20-30 Hertz trainingsphysiologisch wirksame Reize erwarten, da ab dieser Intensität vergleichbare Muskelreaktionen auftraten.

Um nun in einem zweiten Schritt den Umfang einer möglichen Reizapplikation zu ermitteln, wurden in einer experimentellen Studie verschiedene Dosen der Stimulationsdauer an mehreren Probanden getestet.

Dazu standen insgesamt 105 männliche Probanden in Alter von 20 bis 30 Jahren zur Verfügung, welche auf drei Behandlungsgruppen zu je 24 und einer Kontrollgruppe zu 33 Teilnehmern randomisiert wurden. Den Behandlungs- oder Trainingsgruppen wurden verschiedene Umfänge zugeführt (3, 6 bzw. 9 Serien), wobei allen Gruppen die gleiche Intensität (60 % und 30 Hz), Serienpause (45 Sekunden) und Reizdauer innerhalb einer Serie (10 x 8 Sekunden mit 2-Sekunden-Pausen) zukam. Ferner wurde eine Trainingshäufigkeit von 2 Einheiten pro Woche festgelegt, womit eine geforderte Regenerationszeit von wenigstens 48 Stunden nach einer Applikation leicht eingehalten werden konnte (Grosser, 1998). Zudem entspricht dieser Gesamtbehandlungsumfang einer realisierbaren Umsetzung im möglichen späteren Behandlungsalltag. Diese oben geschilderten Belastungsnormativa lehnen sich an die Empfehlungen der trainingswissenschaftlichen und sport- bzw. arbeitsmedizinischen Literatur (Hollmann/Hettinger, 2000; Grosser/Starischka, 1998) an, wonach man hierbei nachweisbare Effekte auf die behandelte Muskulatur erwarten kann, wenn man davon ausgeht, dass die Stimulation Muskelspannungen ähnlich einer willkürlich durchgeführten Kontraktionen von mindestens 60% einer möglichen maximalen Spannung bewirkt.

Zur Beurteilung von Effekten wurde die Fußstreckmuskulatur (v. a. M. Soleus aber auch M. Gastrocnemius) herangezogen, da einerseits der Unterschenkel leicht den Stimulationsreizen ausgesetzt werden konnte und andererseits diese Muskelgruppe durch ihre Faserzusammensetzung der des Beckenbodens gut entspricht. Von einer Behandlung der Beckenbodenmuskulatur wurde abgesehen, da die Auswirkungen der Behandlung auf jene Muskulatur nicht nachgewiesen werden konnte. Eine dazu notwendige klinische Studie kann an der UniBwM nicht geleistet werden. Des Weiteren ist man durch die vorhandenen Diagnosemittel in der Lage, die möglichen Effekte einer mittelfristigen Stimulationsbehandlung auf die Fußstreckmuskulatur abzubilden. Hierzu wurden neben dem Muskelumfang und der Hautfaltendicke zur Beurteilung von eventuellen Hypertrophieeffekten auch die Kraftfähigkeiten der Muskulatur durch Drehmomentmessungen (isometrische Maximalkraft) gemessen. Potentielle Störgrößen wie Körpergewicht und Trainingszustand bzw. Belastungsänderungen wurden kontrolliert.

## **4. Methodik**

Die folgenden Unterkapitel beschreiben das Studiendesign, den exakten Untersuchungsablauf, die Stichprobe und die zur Verwendung gekommenen Trainingsmethoden, Messmethoden und Gerätschaften.

### **a. Untersuchungsdesign**

Insgesamt wurden 105 männliche Teilnehmer im Alter von 20 – 30 Jahren untersucht. Die Auswahl beschränkte sich auf männliche Probanden der Universität der Bundeswehr München, da sich erfahrungsgemäß eine zu geringe Verfügbarkeit von weiblichen Teilnehmerinnen in dem geforderten Umfang zeigte. Nach abgeschlossener Randomisierung entstanden drei Übungsgruppen (à 24 Teilnehmer) und eine Kontrollgruppe (à 33 Teilnehmer). Die Übungsgruppen erfuhren über einen Zeitraum von sechs Wochen eine Unterschenkelstimulation durch Magnetstimulation.

Jeder Proband wurde eingangs, zwischendurch (nach drei Wochen) und am Ende der Trainingsphase auf seine Kraftfähigkeiten untersucht (statische Maximalkraft der Fußstreckmuskulatur beider Unterschenkel).

Die Kraftwerte wurden einbeinig erhoben. Die Stimulation erfolgte nur am schwächeren Unterschenkel.

Begründung hierfür ist, dass die Methode üblicherweise Anwendung bei abgeschwächter oder teilweise stark atrophierter Muskulatur findet. Die Kraftwerte des nicht stimulierten Beins liefern Kontrolldaten, um intraindividuelle Effekte abschätzen zu können.

Alle Probanden wurden angewiesen, kein zusätzliches Sportprogramm oder additives Fußstreckertraining in der sechswöchigen Trainingsphase zu absolvieren. Die ggf. bestehende wöchentliche Sportbelastung der Teilnehmer sollte in Intensität und Umfang beibehalten werden. Entsprechende Daten wurden anhand eines Fragebogens erfasst. Am Ende der sechswöchigen Stimulationsphase bestätigten die Probanden nochmals die Aussagen des Fragebogens, keinen zusätzlichen Sport absolviert zu haben.

Das Belastungsprotokoll der Probanden gestaltete sich, wie es in folgender Tabelle dargestellt ist. Die Gruppen unterschieden sich lediglich im Umfang. Die Frequenz ist die der aufeinanderfolgenden Impulse innerhalb eines 8-sekündigen Reizes. Die Feldstärke von 60% entspricht den Gerätespezifikationen des Herstellers.

Die Gesamtdauer der Untersuchung beträgt sechs Wochen à 2 Trainingseinheiten (TE) pro Woche. Im Begriffsverständnis der Trainingslehre nach SCHNABEL et al. (2003) entspricht dieser Zeitraum einem Mesozyklus.

**Tabelle 1:** Übersicht über die Belastungsparameter in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

|                       | Parameter  | Serien   |
|-----------------------|--|--|
| Übungsgruppe 1 (ÜG 1) | Serie: 10 x 8 Sekunden Stimulation<br>Pause: 2 Sek.<br>Frequenz: 30 Hz<br>Intensität: 60% der mögl. Feldstärke | <b><i>Insg. 3 Serien</i></b> mit 45 Sek. Serienpause |
| Übungsgruppe 2 (ÜG 2) | Serie: 10 x 8 Sekunden Stimulation<br>Pause: 2 Sek.<br>Frequenz: 30 Hz<br>Intensität: 60% der mögl. Feldstärke | <b><i>Insg. 6 Serien</i></b> mit 45 Sek. Serienpause |
| Übungsgruppe 3 (ÜG 3) | Serie: 10 Intervalle á 8 Sek.<br>Pause: 2 Sek.<br>Frequenz: 30 Hz<br>Intensität: 60% der mögl. Feldstärke      | <b><i>Insg. 9 Serien</i></b> mit 45 Sek. Serienpause |
| Kontrollgruppe (KG)   | ohne Behandlung  | -  |

Unter diesen Voraussetzungen ergeben sich Stimulationsdauer, Programmdauer und Impulszahl in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit (Vgl. Tabelle 2).

**Tabelle 2:** Stimulationsdauer, Programmdauer und Impulszahl in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

|   | Übungsgruppe 1 | Übungsgruppe 2 | Übungsgruppe 3 |
|---|----------------|----------------|----------------|
| Gesamtdauer der TE                        | 6:24 min       | 13:23 min      | 20:42 min      |
| Programmierte Dauer auf der Chipkarte     | 7:00 min       | 14:00 min      | 21:00 min      |
| Reine Stimulationsdauer pro TE            | 4:00 min       | 8:00 min       | 12:00 min      |
| Reine Stimulationsdauer insgesamt (12 TE) | 48:00 min      | 96:00 min      | 144:00 min     |
| Impulszahl pro TE                         | 7200           | 14400          | 21600          |
| Impulszahl insgesamt (12 TE)              | 86400          | 172800         | 259200         |

Zur organisatorischen Gestaltung des wöchentlichen Trainings wählten die Probanden ein Tagespaar (Montag/Mittwoch oder Dienstag/ Donnerstag) aus. Dies wurde während der gesamten Trainingsphase beibehalten. Folglich konnte eine gleichbleibende Ruhephase zwischen den Trainingstagen und -wochen gewährleistet werden.

Die Maximalkraftfeststellung der einzelnen Probanden erfolgte eine Woche vor Beginn der Versuchsreihe (Eingangstest), nach drei Wochen Trainingsphase (Zwischentest) und eine Woche nach Beendigung der Versuchsreihe (Ausgangstest).



## b. Die Stichprobe

### i. Stichprobenbeschreibung

Die Stichprobe setzte sich aus 105 männlichen Teilnehmern zusammen. Alle sind Offiziere oder Offizieranwärter und Angehörige der Universität der Bundeswehr München, die über eine Werbemail für die Studie gewonnen wurden. Die Probanden waren zwischen 20 und 30 Jahren alt und absolvierten Sport lediglich im Rahmen eines Hobbies. Es befanden sich keine Leistungssportler innerhalb der Stichprobe. Diese Einschränkung sorgte für eine gewisse Homogenität innerhalb der Stichprobe hinsichtlich Alter und Leistungsstand.

Die folgenden anthropometrischen Daten beziehen sich alle auf den Zeitpunkt des Eingangstests. Der Altersdurchschnitt der 105 Probanden lag bei 25,47 Jahren, wobei der jüngste Proband 23 Jahre und der älteste 30 Jahre alt waren. Die Verteilung des Körpergewichtes lag bei einem Mittelwert von 81,38kg. Das Minimum lag bei 60kg und das Maximum bei 124kg. Im Verlauf der sechswöchigen Treatmentphase verändert sich das Körpergewicht der Probanden unbedeutend um 100g im Mittelwert auf 81,48kg. Der Mittelwert der Körpergröße lag bei 1,80m und wies eine Spannweite von 40cm auf. Das Maximum befand sich bei 2,00m. Zu Beginn der Studie wurden alle 105 Probanden durch Randomisierung einer Gruppe zugeteilt. Dass die Gruppen untereinander im Bereich Alter und Geschlecht homogen sind, wurde durch die Teilnahmebedingungen realisiert. Eine Homogenität der Gruppen zu Beginn der Studie in den Bereichen Maximalkraft, Unterschenkelumfang, Hautfaldendicke und Körpergewicht zeigte sich nach dem Eingangstest. Im Kapitel „Darstellung der Ergebnisse“ wird darauf detailliert eingegangen.

**Tabelle 3:** Anthropometrische Daten der Stichprobe (N=105, MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung)

|                    | MW           | SD    | Min   | Max    |
|--------------------|--------------|-------|-------|--------|
| Alter [J]          | <b>25,47</b> | 1,59  | 23    | 30     |
| Größe [m]          | <b>1,80</b>  | 0,07  | 1,60  | 2,00   |
| Körpergewicht [kg] | <b>81,38</b> | 11,13 | 60,00 | 124,00 |

Die Stichprobe verzeichnete während der gesamten Trainingsphase keine Ausfälle, so dass alle 105 Probanden bis zum Ende an der Studie teilnahmen. Ein Grund für die zuverlässige Teilnahme war vermutlich die Aufwandsentschädigung für die Testung, die die Probanden nach Beendigung der Untersuchung erhielten.

### c. Das Muskelstimulationsgerät QRS® - Pelvicenter

Das Stimulationsgerät liegt in Form eines Stuhles mit Kunststoffgehäuse vor. Unter der gepolsterten Sitzfläche befindet sich eine nach oben gerichtete Spule, die das elektromagnetische Feld erzeugt. An den Armlehnen befinden sich die Bedienungsfelder. Mit der Steuerung lassen sich Intensitäten in fünf Schritten von 20 % bis auf 100 %, die Impulsfrequenzen im Bereich von 1 – 50 Impulsen pro Sekunde sowie die Zyklusdauer in 1-Sekundenschritten regulieren. Nähere Informationen zur Spezifikation des QRS® - Pelvicenter sind der Arbeit von Jakob und Ammann (2010) und dem Bedienungshandbuch des Herstellers zu entnehmen.



Abbildung 1: QRS® Pelvicenter komplett montiert - Vorder- und Seitenansicht (Anonym, 2009, S. 7)

### d. Bestimmung der Maximalkraft

#### i. Isometrische Drehmomentmessung zur Erfassung der muskulären Maximalkraft

Die isometrische Maximalkraft der Fußstreckmuskulatur wurde an der M3 der Fa. Schnell erhoben. Die Probanden sollten hierbei in einer sitzenden Position, mit einem Knie- und Fußwinkel von 90°, gegen den Kraftaufnehmer des Diagnosegerätes maximal stark andrücken. Gemessen wurde drei Mal pro Bein unter Einhaltung der üblichen Pausenzeiten von ca. 4 Minuten bei Maximalkrafttestungen (Grosser, 1998). Der beste Versuch wird dabei gewertet.

Die Erfassung der isometrischen Maximalkraftwerte erfolgte durch die Messung der maximalen Drehmomente mit Hilfe des M3 Diagnos System. Drehmoment deshalb, weil der Kraftaufnahmemarm an einer Stelle der M3 fixiert ist. Das bedeutet, dass eine translatorische Bewegung nicht mehr möglich ist. Somit sind die Bewegungsmöglichkeiten reduziert und der Hebelarm kann sich lediglich durch Rotationsbewegung um den Fixpunkt bewegen. Die

Größe, die diese Bewegung beeinflusst wird als Drehmoment bezeichnet und in Newtonmeter (Nm) angezeigt.



**Abbildung 2:** Messaufbau zur Bestimmung der isometrischen Maximalkraft am M3 Diagnos System, Fa. Schnell

### **e. Bestimmung von Hypertrophieeffekten**

Um Hypertrophieeffekte zu bestimmen, wurde der Unterschenkelumfang beider Unterschenkel der Probanden gemessen.

Um eine Umfangsvergrößerung aufgrund von Fetteinlagerung zu identifizieren, wurde zusätzlich die Hautfaldendicke gemessen.

#### **i. Messung des Unterschenkelumfangs**

Die Messung des Unterschenkelumfangs erfolgte mit einem handelsüblichen, flexiblen, nicht dehnbarem Maßband. Der Proband stand dazu aufrecht, Beine parallel und Kniegelenke gestreckt auf ebenem Boden.

An der optisch dicksten Stelle des Unterschenkels wurde der Umfang dreimal gemessen. Das Maßband wurde dazu jedes Mal neu angelegt. Zu allen drei Testzeitpunkten (Eingangs-, Zwischen- und Ausgangstest) erfolgte die Messung durch denselben Testleiter, um unterschiedlicher Herangehensweisen zu vermeiden. Der jeweils Höchste der drei gemessenen Werte wurde verwendet.

#### **ii. Messung der Hautfaldendicke**

Als Messinstrument für die Hautfaldendickenmessung diente der Skinfold Caliper der Firma Dehag.

An der optisch dicksten Stelle der Unterschenkel wurde die Hautfalte gemessen. Die Werte wurden zu allen drei Testzeitpunkten von demselben Testleiter erhoben.

## **f. Statistische Methoden**

### **i. Berechnungen und grafische Darstellungen**

Sämtliche Berechnungen und statistische Analysen erfolgten mit dem Excel-AddIn XLStat, Version 2010 und PASW Statistics 18. Zur grafischen Darstellung wurde Excel 2007 genutzt und es kamen Balken- sowie Boxplotsdiagramme zum Einsatz. Die statistischen Abkürzungen richten sich nach Sachs (2006).

#### **1. Statistische Analysen**

Bei der Variablenprüfung auf Normalverteilung (*Kolmogorov-Smirnov-Test* und *Shapiro-Wilk-Test*) stellte sich heraus, dass die meisten Werte als nicht normalverteilt angesehen werden können. Ein weiterer Hinweis auf nicht normalverteilte Daten ist, dass in den Boxplots der Median und Mittelwert auseinander und nicht an der gleichen Stelle liegen. Infolgedessen kamen nicht-parametrische Verfahren zum Einsatz.

Die Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse wurde für nicht verbundene Stichproben (drei Trainingsgruppen und eine Kontrollgruppe) eingesetzt und die Friedman-Varianzanalyse für verbundene Stichproben (drei Messungen am gleichen Probanden zu unterschiedlichen Zeitpunkten) angewandt. Um Signifikanzen und Beziehungen zwischen zwei Variablen erkennen zu können, wurde der Mann-Whitney-Test angewandt. Die Auswertung erfolgt durch die Darstellung der Ergebnisse des Friedman-Tests, der p-Werte und den paarweisen Vergleichen zwischen den drei Messzeitpunkten (Ein-, Zwischen- u. Ausgangstest). Um die Übungsgruppen und Kontrollgruppe zu vergleichen und bestehende Signifikanzen erkennen zu können, wurde der Dunns Post-hoc-Test angewandt. Mit ihm ist es möglich, paarweise Unterschiede zwischen den Gruppen zu ermitteln. Dabei stellen gleiche Buchstaben nicht unterscheidbare Gruppen dar.

#### **2. Grundlagen der Auswertung**

Die statistischen Analysen wurden mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% bzw. einem Konfidenzintervall von 95% durchgeführt.

Da der p-Wert als Effektgröße ungeeignet ist, wurde zusätzlich die Effektstärke mit Hilfe des Cohens d bestimmt.

Die errechneten d-Werte können wie folgt interpretiert werden:

- $d \geq 0,2$  als „kleiner Effekt“
- $d \geq 0,5$  als „mittlerer Effekt“
- $d \geq 0,8$  als „starker Effekt“

Um gegenüber den Übungsgruppen eine möglichst hohe Stichprobe zu stellen, welche als Kontrollinstanz diene, wurde jedes Bein der 33 Probanden aus der Kontrollgruppe genutzt. Hier fand keine Unterteilung in starkes oder schwaches Bein statt. Da beide Beine sich keinem Training unterzogen, war dies möglich, so dass während der statistischen Analyse immer mit 66 Beinen gerechnet wurde.

## 5. Ergebnisse

### a. Ergebnisse der Anthropometrischen Daten

Die Probanden waren im Mittel  $25,47 \pm 1,6$  Jahre alt und wiesen eine mittlere Körpergröße von  $1,80 \text{ m} \pm 0,07 \text{ m}$  auf.

Betrachtet man die Körpergewichtsmittelwerte der Gruppen im Eingangstest stellt man fest, dass diese alle auf einem Niveau liegen. So kann von einer Vergleichbarkeit der Gruppen untereinander ausgegangen werden.

**Tabelle 4:** durchschnittliche anthropometrische Daten der Untergruppen

|                          | Körpergröße<br>[m] | Gewicht<br>[kg] | Hautfaltendicke<br>[mm] | Unterschenkel-<br>umfang [cm] | Maximalkraft<br>[N] |
|--------------------------|--------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------|
| Gruppe 1<br>(n=24)       | 1,79               | 80,98           | 7,12                    | 39,0                          | 941,6               |
| Gruppe 2<br>(n=24)       | 1,80               | 83,40           | 7,71                    | 39,7                          | 1024,3              |
| Gruppe 3<br>(n=24)       | 1,80               | 82,04           | 6,67                    | 38,6                          | 998,3               |
| Kontrollgruppe<br>(n=33) | 1,80               | 79,76           | 9,79                    | 38,4                          | 1016,3              |

Die Veränderungen des mittleren Körpergewichts der Teilgruppe lagen mit ca. 200g unterhalb der Messgenauigkeit bedingt durch die tageszeitliche Schwankung. Deswegen wird im Weiteren hierauf nicht näher eingegangen.

### b. Ergebnisse der Maximalkraftmessung

Die folgenden Ausführungen stellen in Abhängigkeit von den drei Messzeitpunkten, für die drei Übungsgruppen und eine Kontrollgruppe getrennt, die Maximalkraft dar. Dabei werden vorrangig die Kraftveränderungen für das *trainierte Bein* (das anfänglich schwächere Bein), dargestellt und anschließend mit dem Bein, welches nicht der elektromagnetischen Stimulation unterzogen wurde (Bezeichnung: *untrainiertes Bein*), verglichen. Die angegebenen Kraftwerte sowie die Prozentzahlen sind immer als absolute Werte anzusehen.

**i. Trainingsgruppe 1; Belastungsdauer 7min (3 Serien)**

Die mittleren Kraftwerte des Zwischen- und Ausgangstest sind beide höher als beim Eingangstest. Die höchsten mittleren Kraftwerte des trainierten Beins wurden beim Ausgangstest (Endtest) erreicht. Die statistische Auswertung zeigt, dass der beobachtete Wert (38,1) deutlich größer als der kritische Wert (5,9) ist. Des Weiteren wird deutlich, dass sich hoch signifikante Unterschiede zwischen dem Ein- und Ausgangstest ergeben ( $p < 0,01$ ). Der gleiche hoch signifikante Unterschied zeigt sich beim Zwischen- und Ausgangstest ( $p < 0,01$ ). Keine Signifikanz zeigt sich hingegen zwischen der ersten und zweiten Messung (Ein- u. Zwischentest).

Die Effektstärke für die Übungsgruppe 1 zeigt, dass es einen kleinen Effekt in der Maximalkraftentwicklung zwischen dem Eingangs- und Zwischentest ( $d = 0,38$ ) gab. Ein Effekt von  $d = 0,47$  stellte sich zwischen der zweiten und dritten Messung (Zwischen- u. Ausgangstest) ein und kann annähernd einen mittleren Effekt verzeichnen. Ein starken Effekt von  $d = 0,92$  ist zwischen dem Ein- und Ausgangstest zu beobachten.

**Tabelle 5:** Übungsgruppe 1; Kraft in Abhängigkeit von den Messzeitpunkten in Newton

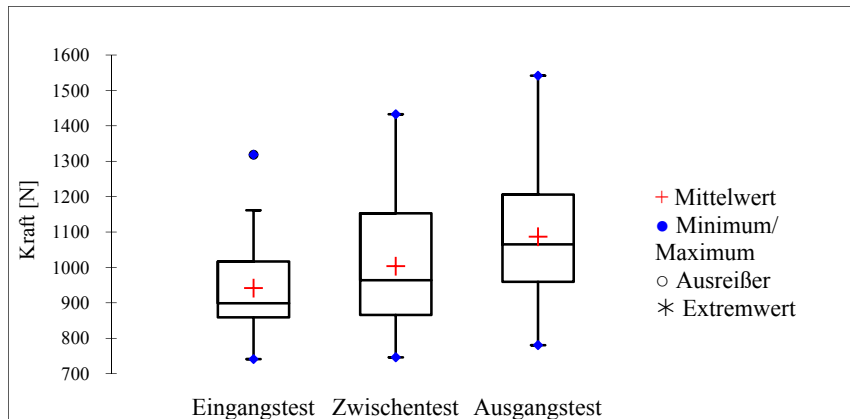
| Statistik  | Eingangstest | Zwischentest | Ausgangstest |
|------------|--------------|--------------|--------------|
| 1. Quartil | 859,1        | 865,9        | 959,6        |
| Median     | 898,6        | 963,7        | 1065,1       |
| 3. Quartil | 1016,8       | 1152,8       | 1205,9       |
| MW         | 941,6        | 1003,5       | 1086,7       |
| SD         | 143,7        | 180,9        | 171,7        |

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| Friedman-Test:        |        |
| Q (Beobachteter Wert) | 38,083 |
| Q (Kritischer Wert)   | 5,991  |
| FG                    | 2      |
| p-Wert                | < 0,01 |

| p-Werte:  | Eingangstest  | Zwischentest  | Ausgangstest  |
|---|---------------|---------------|---------------|
| Eingangstest                                      | 1             | 0,149         | < <b>0,01</b> |
| Zwischentest                                      | 0,149         | 1             | < <b>0,01</b> |
| Ausgangstest                                      | < <b>0,01</b> | < <b>0,01</b> | 0             |
| Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau: 0,0167 |               |               |               |

| Effektstärke | Eingangs- u. Zwischentest | Zwischen- u. Ausgangstest | Eingangs- u. Ausgangstest |
|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Cohens d     | 0,38                      | 0,47                      | 0,92                      |

Die folgende Abbildung zeigt, dass der Mittelwert im Verlauf der Messzeitpunkte in seinem Kraftniveau steigt. Im Eingangstest stellt das Maximum von 1318,4 N auch gleichzeitig einen Ausreißer dar. Im Zwischen- und Ausgangstest befinden sich alle Messwerte im 1,5fachen des Interquartilsabstand und beinhalten demzufolge keine Ausreißer oder Extremwerte. Das Maximum der Kraftwerte stieg bis zum Ausgangstest (dritte Messung) auf einen Wert von 1541,6 N. Die Minimumwerte stiegen von 740,9 N im Eingangstest (erste Messung) bis auf 780,4 N im Ausgangstest.



**Abbildung 3:** Gruppe 1; Kraft in Abhängigkeit von den Messzeitpunkten in Newton

### 1. Unterschiede zwischen beiden Beinen pro Termin; Gruppe 1

Die folgende Tabelle beschreibt die Unterschiede zwischen den untrainierten und trainierten Beinen für jeden Messzeitpunkt. Wie im Eingangstest anhand der mittleren Kraftwerte und dem p-Wert zu sehen ist, liegt hier ein hoch signifikanter Unterschied zwischen beiden Beinen vor ( $p < 0,01$ ). Deutlich wird zudem, dass die untrainierten Beine sich in ihrem mittleren Kraftniveau nur gering vom Eingangs- bis Ausgangstest (um 16,8 N) verändern.

Während im Eingangstest sich beide Beine mit einer Differenz von 172,3 N unterschieden, waren es im Zwischentest noch 94,1 N und im Ausgangstest lediglich 10,4 N. Gab es im Eingangstest einen hoch signifikanten Unterschied zwischen den Beinen, war der Unterschied im Zwischentest signifikant ( $p < 0,05$ ) und im Ausgangstest nicht signifikant.

**Tabelle 6:** Unterschiede der Kraft pro Testzeitpunkt; Gruppe 1 in Newton

| Kraft            | Min   | Max    | MW     | SD    | Sig.   |
|------------------|-------|--------|--------|-------|--------|
| Eingangstest:    |       |        |        |       |        |
| trainiertes Bein | 740,9 | 1318,4 | 941,6  | 143,7 | p<0,01 |
| untrainiert Bein | 902,8 | 1380,7 | 1113,9 | 143,3 |        |
| Zwischentest:    |       |        |        |       |        |
| trainiertes Bein | 746,1 | 1432,6 | 1003,5 | 180,9 | p<0,05 |
| untrainiert Bein | 885,5 | 1407,1 | 1097,6 | 140,6 |        |
| Ausgangstest:    |       |        |        |       |        |
| trainiertes Bein | 780,4 | 1541,6 | 1086,7 | 171,7 | n. s.  |
| untrainiert Bein | 800,2 | 1400,9 | 1097,1 | 152,9 |        |

## ii. Trainingsgruppe 2; Belastungsdauer 14min (6 Serien)

Die höchsten mittleren Kraftwerte von 1221,8N konnten im Ausgangstest erreicht werden. Auch im Zwischentest sind höhere Kraftwerte (1129,8N) als im Eingangstest (1024,3N) zu beobachten, vgl. dazu Tabelle 7 und Abb. 30. Der beobachtete Wert aus dem Friedmann-Test liegt mit 42,25 sehr deutlich über dem kritischen Wert (5,991). Hoch signifikante Änderungen der mittleren Kraft-Werte zwischen Ein-, Zwischen- u. Ausgangstest sind nachweisbar ( $p<0,01$ ). Es ergeben sich hoch signifikante Unterschiede ( $p<0,01$ ) zwischen der ersten und zweiten Messung (Ein- u. Zwischentest) sowie zwischen Ein- und Ausgangstest,  $p<0,01$ . Ein hoch signifikanter Unterschied ist auch zwischen der zweiten und dritten Messung zu beobachten,  $p<0,01$ . Es zeigen sich zunehmende Kraftwerte mit zunehmender Dauer der Trainingsperiode. Betrachtet man die Effektstärke für diese Gruppe, zeigen sich mittlere Effekte zwischen Ein- u. Zwischentest ( $d=0,61$ ) und Zwischen- u. Ausgangstest ( $d=0,52$ ). Ein sehr starker Effekt der Maximalkraftentwicklung, von  $d=1,16$ , wird zwischen Ein- u. Ausgangstest deutlich.

**Tabelle 7:** Gruppe 2; Kraft in Abhängigkeit von den Messzeitpunkten in Newton

| Statistik  | Eingangstest | Zwischentest | Ausgangstest |
|------------|--------------|--------------|--------------|
| 1. Quartil | 900,0        | 984,6        | 1123,9       |
| Median     | 1014         | 1138,3       | 1206,9       |
| 3. Quartil | 1149,5       | 1231,3       | 1334,6       |
| MW         | 1024,3       | 1129,8       | 1221,8       |
| SD         | 166,1        | 180,0        | 174,0        |

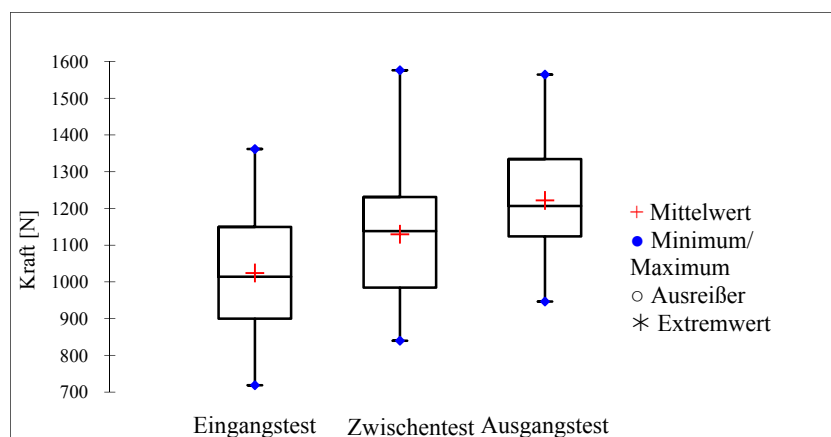
| Friedman-Test:        |         |
|-----------------------|---------|
| Q (Beobachteter Wert) | 42,25   |
| Q (Kritischer Wert)   | 5,991   |
| FG                    | 2       |
| p-Wert                | < 0, 01 |



| p-Werte:  | Eingangstest | Zwischentest | Ausgangstest |
|---|--------------|--------------|--------------|
| Eingangstest                                      | 1            | <0,01        | < 0,01       |
| Zwischentest                                      | <0,01        | 1            | <0,01        |
| Ausgangstest                                      | < 0,01       | <0,01        | 0            |
| Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau: 0,0167 |              |              |              |

| Effektstärke | Eingangs- u. Zwischentest | Zwischen- u. Ausgangstest | Eingangs- u. Ausgangstest |
|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Cohens d     | 0,61                      | 0,52                      | 1,16                      |

In der Abbildung 4 zeigt sich ebenfalls ein deutlicher Anstieg der mittleren Kraftwerte von der ersten bis zur dritten Messung (Eingangs- bis Ausgangstest). In dieser Gruppe sind zu keinem Messzeitpunkt Ausreißer oder Extremwerte zu beobachten. Das höchste Maximum von 1576,4 N ist im Zwischentest zu beobachten und fällt im Ausgangstest nur unwesentlich um 11,8 N auf 1564,6 N ab. Das Minimumkraftniveau erhöht sich von 718,8 N über 840 N (Zwischentest) auf 946,6 N im Ausgangstest.



**Abbildung 4:** Gruppe 2; Kraft in Abhängigkeit von den Messzeitpunkten in Newton

## 1. Unterschiede zwischen beiden Beinen pro Termin; Gruppe 2

Die mittleren Kraftwerte der Beine unterscheiden sich im Eingangstest um 140,3N und es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen beiden ( $p < 0,05$ ). Im Zwischen- und Ausgangstest ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Beinen festzustellen. Die Kraftwerte der untrainierten Beine sind zu allen drei Messzeitpunkten annähernd gleich hoch und weisen nur geringe Veränderungen auf. Die anfänglich schwächeren Beine zeigen zum Zeitpunkt des Ausgangstests eine deutliche Steigerung in ihren Kraftwerten und sind nach der Trainingsperiode um 53,3 N stärker als die untrainierten Beine.

**Tabelle 8:** Unterschiede der Kraft pro Testzeitpunkt; Gruppe 2 in Newton

| Kraft            | Min   | Max    | MW     | SD    | Sign.  |
|------------------|-------|--------|--------|-------|--------|
| Eingangstest:    |       |        |        |       |        |
| trainiertes Bein | 718,8 | 1361,7 | 1024,3 | 166,1 | p<0,05 |
| untrainiert Bein | 820,5 | 1466,4 | 1164,6 | 190,4 |        |
| Zwischentest:    |       |        |        |       |        |
| trainiertes Bein | 840   | 1576,4 | 1129,8 | 180   | n. s.  |
| untrainiert Bein | 840   | 1688,4 | 1172,7 | 214,5 |        |
| Ausgangstest 3:  |       |        |        |       |        |
| trainiertes Bein | 946,6 | 1564,6 | 1221,8 | 174   | n. s.  |
| untrainiert Bein | 845,9 | 1497,3 | 1168,5 | 194,8 |        |

### iii. Trainingsgruppe 3; Belastungsdauer 21min (9 Serien)

Bei der Übungsgruppe 3 sind die mittleren Kraftwerte von Zwischen- u. Ausgangstest jeweils größer als die des Eingangstests. Die höchsten Werte werden im Ausgangstest (1182,3 N) erreicht. Die statistische Auswertung zeigt, dass auch hier der beobachtete Wert (41,33) über dem kritischen Wert (5,99) liegt. Zwischen allen drei Messzeitpunkten sind hoch signifikante Unterschiede in der Kraft nachweisbar ( $p < 0,01$ ). Hierbei unterscheidet sich die erreichte Kraft signifikant ( $p < 0,05$ ) von der ersten zur zweiten Messung. Sehr hohe signifikante Unterschiede bestehen zwischen Ein- u. Ausgangstest sowie Zwischen- u. Ausgangstest. Beide weisen jeweils einen p-Wert  $< 0,01$  auf. Die Effektstärke verdeutlicht einen stetig steigenden Effekt der Maximalkraftwerte. Es besteht ein kleiner Effekt von  $d = 0,37$  im Messzeitraum Ein- u. Zwischentest. Ein mittlerer Effekt ( $d = 0,56$ ) ist beim Zwischen- u. Ausgangstest zu beobachten. Ein starker Effekt von Cohens  $d = 0,93$  lässt sich zwischen Eingangs- u. Ausgangstest verzeichnen.

**Tabelle 9:** Gruppe 3; Kraft in Abhängigkeit von den Messzeitpunkten in Newton

| Statistik  | Eingangstest | Zwischentest | Ausgangstest |
|------------|--------------|--------------|--------------|
| 1. Quartil | 898,2        | 943          | 1068,2       |
| Median     | 963,9        | 1038,4       | 1119,6       |
| 3. Quartil | 1031,3       | 1080,5       | 1289,1       |
| MW         | 998,3        | 1070,4       | 1182,3       |
| SD         | 190,01       | 195,69       | 204,43       |

| Friedman-Test:        |        |
|-----------------------|--------|
| Q (Beobachteter Wert) | 41,333 |
| Q (Kritischer Wert)   | 5,991  |
| FG                    | 2      |
| p-Wert                | < 0,01 |

| p-Werte:  | Eingangstest  | Zwischentest  | Ausgangstest  |
|---|---------------|---------------|---------------|
| Eingangstest                                      | 1             | <0,05         | < <b>0,01</b> |
| Zwischentest                                      | <0,05         | 1             | < <b>0,01</b> |
| Ausgangstest                                      | < <b>0,01</b> | < <b>0,01</b> | 0             |
| Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau: 0,0167 |               |               |               |

| Effektstärke | Eingangs- u. Zwischentest | Zwischen- u. Ausgangstest | Eingangs- u. Ausgangstest |
|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Cohens d     | 0,37                      | 0,56                      | 0,93                      |

Die Boxplots der Abbildung 5 zeigen, dass in der dritten Übungsgruppe mehrere Ausreißer und Extremwerte vorkamen. Im Eingangstest stellt das Minimum von 671,2 auch gleichzeitig einen Ausreißer dar. Ein weiterer Ausreißer befindet sich über dem dritten Quartil, sowie ein Extremwert, welcher auch gleichzeitig das Maximum von 1478,8N darstellt. Drei Ausreißer befinden sich im Zwischentest über dem dritten Quartil und auch bei dieser Messung stellt das Maximum (1672,8N) einen Extremwert dar. Das mittlere Kraftniveau stieg vom Eingangstest (998,3N) bis zum Ausgangstest um 184N auf 1182,3N. Aufgrund des stark gestiegenen Kraftniveaus der dritten Messung stellt das Maximum von 1685,5N „lediglich“ einen Ausreißer dar.

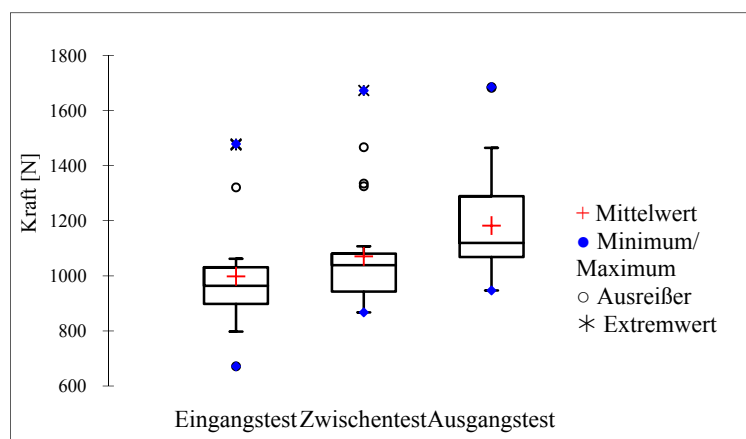


Abbildung 5: Gruppe 3; Kraft in Abhängigkeit von den Messzeitpunkten in Newton

### 1. Unterschiede zwischen beiden Beinen pro Termin; Gruppe 3

Zum Zeitpunkt des Eingangstests liegt ein hoch signifikanter Unterschied ( $p < 0,01$ ) zwischen den trainierten und untrainierten Beinen vor. Die trainierten Beine waren im arithmetischen Mittel zu diesem Messzeitpunkt 103,6 N schwächer als die untrainierten Beine. Bereits im Zwischentest erhöhte sich der mittlere Kraftwert der trainierten Beine auf 1070,4 N und unterschied sich so nur noch um 6,7 N von den trainierten Beinen. Ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Beinen war jetzt nicht mehr zu beobachten. Zum Messzeitpunkt

des Ausgangstests lag wieder ein signifikanter Unterschied vor ( $p < 0,05$ ). Auffällig wird, dass jetzt die trainierten Beine durch die höheren mittleren Kraftwerte den signifikanten Unterschied auslösen. Der Mittelwert der trainierten Beine (1182,3 N) liegt 102,1 N über dem Kraftniveau der untrainierten Beine.

**Tabelle 10:** Unterschiede der Kraft pro Testzeitpunkt; Gruppe 3 in Newton

| Kraft            | Min   | Max    | MW     | SD    | Sign.  |
|------------------|-------|--------|--------|-------|--------|
| Eingangstest:    |       |        |        |       |        |
| trainiertes Bein | 671,2 | 1478,8 | 998,3  | 190   | p<0,05 |
| untrainiert Bein | 808,9 | 1536,1 | 1101,9 | 186,6 |        |
| Zwischentest:    |       |        |        |       |        |
| trainiertes Bein | 867,2 | 1672,8 | 1070,4 | 195,7 | n. s.  |
| untrainiert Bein | 843,2 | 1477,4 | 1077,1 | 168,1 |        |
| Ausgangstest:    |       |        |        |       |        |
| trainiertes Bein | 946,7 | 1685,5 | 1182,3 | 204,4 | n. s.  |
| untrainiert Bein | 838,1 | 1542,7 | 1080,2 | 171,8 |        |

#### iv. Kontrollgruppe; keine Stimulation

Die mittleren Kraftwerte lagen im Eingangstest bei 1016,3 N und stiegen bis zum Ausgangstest um 6,2 N auf 1022,5 N. Die Minimal- und Maximalwerte blieben während der sechs Wochen ohne Training auf einem ähnlichen Niveau, siehe dazu Tabelle 11.

**Tabelle 11:** Kontrollgruppe; Kraft in Abhängigkeit von den Messzeitpunkten in Newton

| Statistik  | Eingangstest | Ausgangstest |
|------------|--------------|--------------|
| 1. Quartil | 895,3        | 891,1        |
| Median     | 1017,0       | 1029,8       |
| 3. Quartil | 1123,2       | 1135,9       |
| MW         | 1016,3       | 1022,5       |
| SD         | 164,1        | 164,2        |

#### v. Vergleich der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe bezogen auf die Kraft

Für die Kontrollgruppe wurden die Daten im Eingangs- u. Ausgangstest erhoben. Somit wurden die Unterschiede zwischen den Übungsgruppen und der Kontrollgruppe für diese beiden Messzeitpunkte ausgewertet. In der folgenden Auswertung wird Bezug auf das anfänglich schwächere Bein (trainiertes Bein) genommen, welches sich der sechswöchigen Trainingsphase durch elektromagnetische Stimulation unterzog.

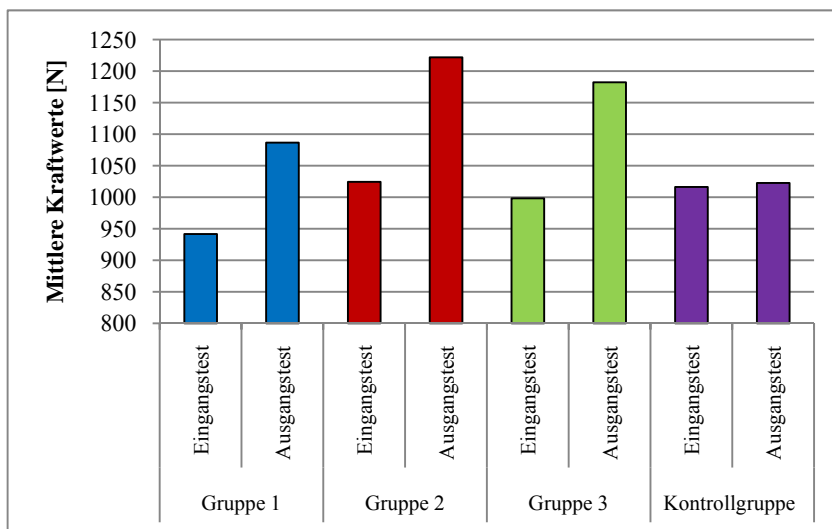
Zum Zeitpunkt des Eingangstest gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Dieser Sachverhalt verdeutlicht auch die Homogenität der Gruppen zu Beginn der

Trainingsphase. Die Trainingsgruppe 2 konnte die höchsten mittleren Kraftwerte verzeichnen (1024,3 N). Sie hatte damit auch die höchsten Ausgangswerte für die folgende Trainingsperiode. Die Mittelwerte der ersten und dritten Gruppe lagen unter dem Wert der Kontrollgruppe, siehe dazu Tabelle 12.

**Tabelle 12:** Überblick über die Testwerte und die Kraftsteigerungen der Maximalkraft in Newton

| Gruppe    | Bein               | Eingangstest  | Ausgangstest  | Veränderung  | %           |
|-----------|--------------------|---------------|---------------|--------------|-------------|
| 1         | trainiert          | 941,6         | 1086,7        | 145,1        | 15,4        |
|           | <i>untrainiert</i> | <i>1113,9</i> | <i>1097,1</i> | <i>-16,8</i> | <i>-1,5</i> |
| 2         | trainiert          | 1024,3        | 1221,8        | 197,5        | 19,3        |
|           | <i>untrainiert</i> | <i>1164,6</i> | <i>1168,5</i> | <i>3,9</i>   | <i>0,3</i>  |
| 3         | trainiert          | 998,3         | 1182,3        | 184          | 18,4        |
|           | <i>untrainiert</i> | <i>1101,9</i> | <i>1080,2</i> | <i>-21,7</i> | <i>-1,9</i> |
| Kontrolle |                    | 1016,3        | 1022,5        | 6,2          | 0,61        |

Das folgende Diagramm verdeutlicht grafisch den Ausprägungsgrad der Maximalkraftveränderung der einzelnen Gruppen. Es zeigt die größte absolute Steigerung bei der zweiten Gruppe, gefolgt von der dritten und ersten Gruppe. Bei der Kontrollgruppe ist kaum eine Steigerung sichtbar.



**Abbildung 6:** Veränderung der mittleren Kraftwerte der Übungs- und Kontrollgruppe

**Tabelle 13:** Vergleich der Trainingsgruppen mit der Kontrollgruppe: Kraft im Eingangstest in Newton

| Kraft                         | Min   | Max    | MW     | SD    |
|-------------------------------|-------|--------|--------|-------|
| Eingangstest   Gruppe 1       | 740,9 | 1318,4 | 941,6  | 143,7 |
| Eingangstest   Gruppe 2       | 718,8 | 1361,7 | 1024,3 | 166,1 |
| Eingangstest   Gruppe 3       | 671,2 | 1478,8 | 998,3  | 190   |
| Eingangstest   Kontrollgruppe | 697,1 | 1375,3 | 1016,3 | 164,1 |

| Kruskal-Wallis-Test:  |       |
|-----------------------|-------|
| K (Beobachteter Wert) | 5,382 |
| K (Kritischer Wert)   | 7,815 |
| FG                    | 3     |
| p-Wert                | n. s. |

Anders verhielt es sich im Ausgangstest. Nach der sechswöchigen Trainingsphase wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt. Die Übungsgruppe mit den höchsten mittleren Kraftwerten war die zweite Gruppe. Bei dieser Gruppe verbesserten sich die mittleren Kraftwerte um 19,28%. Die zweite und dritte Gruppe hatten im Ausgangstest deutlich höhere mittlere Kraftwerte als die Kontrollgruppe, siehe dazu Tabelle 14. Die dritte Gruppe steigerte ihre Kraftwerte um 18,4% und die erste Gruppe hatte einen 15,41%ig höheren Mittelwert als im Eingangstest.

**Tabelle 14:** Vergleich der Trainingsgruppen mit der Kontrollgruppe: Kraft im Ausgangstest in Newton

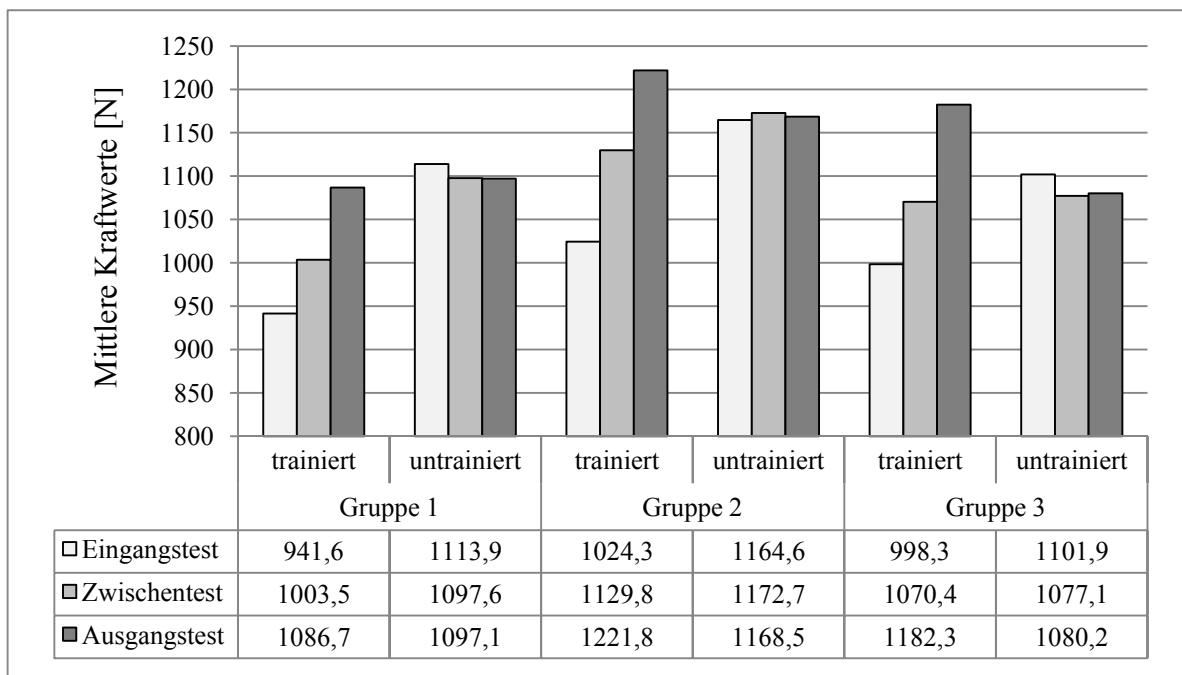
| Kraft                         | Min   | Max    | MW     | SD    |
|-------------------------------|-------|--------|--------|-------|
| Ausgangstest   Gruppe 1       | 780,4 | 1541,6 | 1086,7 | 171,7 |
| Ausgangstest   Gruppe 2       | 946,6 | 1564,6 | 1221,8 | 174   |
| Ausgangstest   Gruppe 3       | 946,7 | 1685,5 | 1182,3 | 204,4 |
| Ausgangstest   Kontrollgruppe | 711,1 | 1353,5 | 1022,5 | 164,2 |

| Kruskal-Wallis-Test:  |        |
|-----------------------|--------|
| K (Beobachteter Wert) | 23,214 |
| K (Kritischer Wert)   | 7,815  |
| FG                    | 3      |
| p-Wert                | < 0,01 |

#### vi. Grafischer Vergleich aller Trainingsgruppen, bezogen auf die Kraft

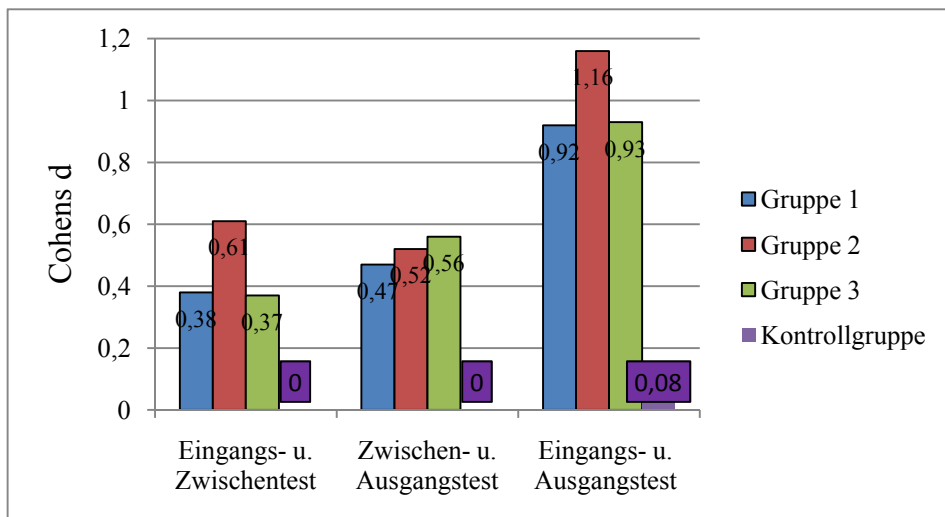
In den folgenden Abbildungen wird der Verlauf der Maximalkraftentwicklung grafisch dargestellt.

Die Diagramme in der Abbildung 7 zeigen, wie stark sich in den Gruppen die mittleren Maximalkraftwerte der trainierten Beine erhöht haben und wie konstant das Kraftniveau der untrainierten Beine geblieben ist.



**Abbildung 7:** Veränderungen der mittleren Maximalkraftwerte der beiden Beine in Newton

In der Abbildung 8 verdeutlicht das Cohens d wie groß oder schwach der Effekt für das trainierte Bein war. Man kann feststellen, dass zwischen Eingangstest und Zwischentest der Effekt des Maximalkraftzuwachses bei der ersten und dritten Gruppe schwach war und bei der zweiten Gruppe mittel. Im Zeitraum von Zwischen- bis Ausgangstest wiesen alle drei Übungsgruppen einen mittleren Effekt nach. Der Effekt über den gesamten Zeitraum war bei allen drei Übungsgruppen stark. Am stärksten bei der zweiten Gruppe mit einem d von 1,16. Die erste und dritte Gruppe lagen bei der Effektstärke sehr nah beieinander ( $d=0,92$ ;  $0,93$ ). Die Kontrollgruppe konnte in keinem Bereich einen Effekt nachweisen.



**Abbildung 8:** Effektstärke der Kraftentwicklung

Das Diagramm aus der Abbildung 9 zeigt die Kraftsteigerung in Prozentblöcken. Es wird aufgezeigt, wie viele Probanden sich nach dem sechswöchigen Training in jedem dieser Steigerungsblöcke befinden. Auch in dieser Abbildung kann man feststellen, dass die zweite Gruppe die anzahlmäßig größten Verbesserungen zu verzeichnen hat. Bei der ersten und dritten Gruppe waren es vier Personen, deren Maximalkrafterhöhung zwischen 20 und 25 Prozent lag, bei der zweiten waren es sechs. Auch bei einer Kraftsteigerung von 25-30% und 30-35% lag die zweite Gruppe mit jeweils vier und zwei Probanden vorn. Lediglich die dritte Gruppe konnte mit zwei Personen extrem hohe Kraftsteigerungen erzielen. Ein Proband steigerte sich um 44,78% in seiner Maximalkraft und ein zweiter um 47,21%. Diese Daten können aber als Extremwerte angesehen werden und lassen somit keine Assoziation zur Grundgesamtheit zu.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde in dieser Darstellung auf die Abbildung der Kontrollgruppe verzichtet. Bei der Kontrollgruppe konzentrierte sich die Masse an Kraftentwicklung unter null oder zwischen null und fünf Prozent. Acht Personen wiesen eine Steigerung von fünf bis zehn Prozent auf und ein Ausreißer steigerte sich um 26,06 Prozent.



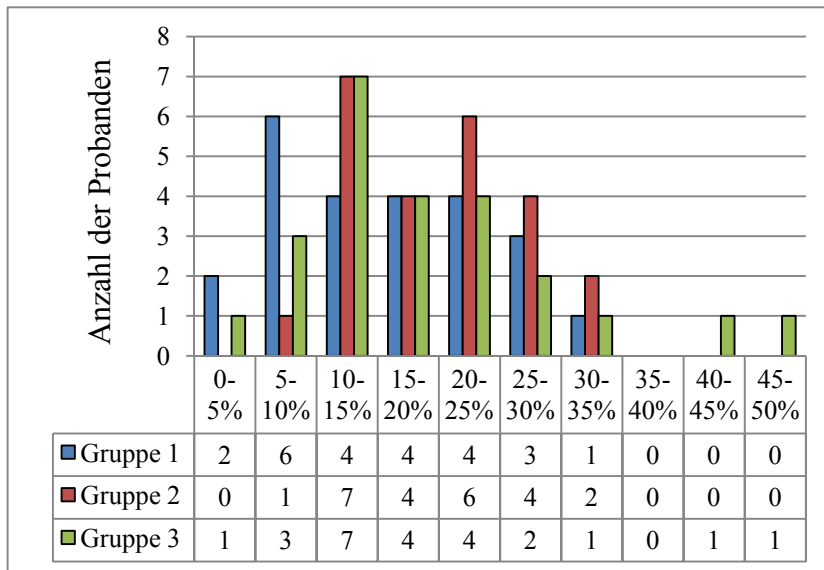


Abbildung 9: Verteilung der Probanden der Maximalkraftzuwächse in Prozentblöcken

**vii. Nähere Betrachtung der Gruppen 2 und 3 hinsichtlich der Kraftzuwächse**

Aufgrund des geringen Unterschiedes der beiden Interventionsgruppen G2 und G3 hinsichtlich ihrer mittleren Kraftzuwächse empfiehlt sich eine weitere Betrachtung, in wie weit sich diese beiden voneinander unterscheiden und ob die Unterschiede eventuell sogar im Bereich der Messvariation liegen.

Tabelle 15: Mittelwerte (MW) und Standardabweichung (SD) des Kraftzuwachses

|              | Gruppe | N  | MW     | SD    |
|--------------|--------|----|--------|-------|
| Kraftzuwachs | 2      | 24 | 197,58 | 61,83 |
|              | 3      | 24 | 184,03 | 87,72 |

Tabelle 16: Berechnung der Unterschiede des Kraftzuwachses der beiden Gruppen

|                                      | Gruppe    | N       | Mittlerer Rang | Rangsumme |
|--------------------------------------|-----------|---------|----------------|-----------|
| Differenz                            | 2         | 24      | 26,79          | 643,00    |
|                                      | 3         | 24      | 22,21          | 533,00    |
|                                      | Gesamt    | 48      |                |           |
|                                      | Differenz |         |                |           |
| Mann-Whitney-U                       |           | 233,000 |                |           |
| Wilcoxon-W                           |           | 533,000 |                |           |
| Z                                    |           | -1,134  |                |           |
| Asymptotische Signifikanz (2-seitig) |           | ,257    |                |           |

Bei der Betrachtung der Behandlungsdauer der praxisrelevanten Gruppen 2 und 3 können keine signifikanten Unterschiede im Kraftzuwachs über 12 Wochen festgestellt werden ( $U = 233$ ,  $Z = -1,134$ ; n. s.). Die Gruppe 2 (14 Minuten Behandlungsdauer) hat einen hoch signifikanten ( $U = 300$ ,  $Z = -4,286$ ;  $p < 0,01$ ) mittleren Kraftzuwachs von  $197,58 \text{ N}$  ( $\pm 61,83 \text{ N}$ ). Bei der Gruppe 3, die 21 Minuten Behandlungsdauer durchläuft, steigert sich die Kraft ebenfalls hoch signifikant ( $U = 300$ ,  $Z = -4,286$ ;  $p < 0,01$ ) im Mittel um  $184,03 \text{ N}$  ( $\pm 87,72 \text{ N}$ ).

**Tabelle 17:** Ränge Gruppe 2

|                   |                | N               | Mittlerer Rang | Rangsumme |
|-------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------|
| Kraft_E - Kraft_B | Negative Ränge | 0 <sup>a</sup>  | ,00            | ,00       |
|                   | Positive Ränge | 24 <sup>b</sup> | 12,50          | 300,00    |
|                   | Bindungen      | 0 <sup>c</sup>  |                |           |
|                   | Gesamt         | 24              |                |           |

<sup>a</sup>. Kraft\_E < Kraft\_B

<sup>b</sup>. Kraft\_E > Kraft\_B

<sup>c</sup>. Kraft\_E = Kraft\_B

**Tabelle 18:** Statistik für Gruppe 2 (Wilcoxon-Test)

|                                      | Kraft_B - Kraft_E   |
|--------------------------------------|---------------------|
| Z                                    | -4,286 <sup>a</sup> |
| Asymptotische Signifikanz (2-seitig) | ,000                |

<sup>a</sup>. Basiert auf positiven Rängen.

**Tabelle 19:** Ränge Gruppe 3

|                   |                | N               | Mittlerer Rang | Rangsumme |
|-------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------|
| Kraft_E - Kraft_B | Negative Ränge | 0 <sup>a</sup>  | ,00            | ,00       |
|                   | Positive Ränge | 24 <sup>b</sup> | 12,50          | 300,00    |
|                   | Bindungen      | 0 <sup>c</sup>  |                |           |
|                   | Gesamt         | 24              |                |           |

<sup>a</sup>. Kraft\_E < Kraft\_B

<sup>b</sup>. Kraft\_E > Kraft\_B

<sup>c</sup>. Kraft\_E = Kraft\_B

**Tabelle 20:** Statistik für Gruppe 3 (Wilcoxon-Test)

|                                      | Kraft_B - Kraft_E   |
|--------------------------------------|---------------------|
| Z                                    | -4,286 <sup>a</sup> |
| Asymptotische Signifikanz (2-seitig) | ,000                |

<sup>a</sup>. Basiert auf positiven Rängen.

### **c. Ergebnisse der Unterschenkelumfangmessung und Hautfaltendicke**

Die folgenden Ausführungen stellen in Abhängigkeit von den drei Messzeitpunkten, für die drei Übungsgruppen und eine Kontrollgruppe getrennt, die Umfangsmessungen dar. Dabei werden vorrangig die Umfänge für das *trainierte Bein* (das anfänglich schwächere Bein), dargestellt und anschließend mit dem Bein, welches nicht der elektromagnetischen Stimulation unterzogen wurde (Bezeichnung: *untrainiertes Bein*), verglichen. Weiterhin werden zu Beginn die Ergebnisse der Hautfaltendickenmessung dargestellt. Die Entwicklung der Hautfaltendicke lässt Rückschlüsse zu, ob mögliche Umfangsveränderungen auf eine Zunahme von Fettgewebe in der Haut oder auf eine Muskelquerschnittsvergrößerung zurückzuführen sind.

#### **i. Ergebnisse der Messung der Hautfaltendicke; Gruppe 1**

Die mittleren Werte der Hautfaltendicke weisen bei den trainierten wie auch untrainierten Beinen nur sehr geringe Veränderungen auf. Die trainierten Beine der ersten Gruppe hatten im Eingangstest eine mittlere Hautfaltendicke von 7,12 mm. Diese verringerte sich jedoch nicht signifikant auf 6,96 mm im Zwischentest und stieg im Ausgangstest um 0,04 mm an. Bei den untrainierten Beinen konnte im Eingangstest ein Mittelwert von 8,33 mm festgestellt werden, dieser stieg bis zum Zwischentest auf ein Mittel von 8,63 mm. Am Ende der sechs Wochen wurde bei diesen Beinen eine mittlere Hautfaltendicke von 8,13 mm notiert. Gesamtheitlich betrachtet ist das Hautfaltendickenniveau der trainierten Beine geringer als das der untrainierten Beine, vgl. dazu auch Abb. 10.

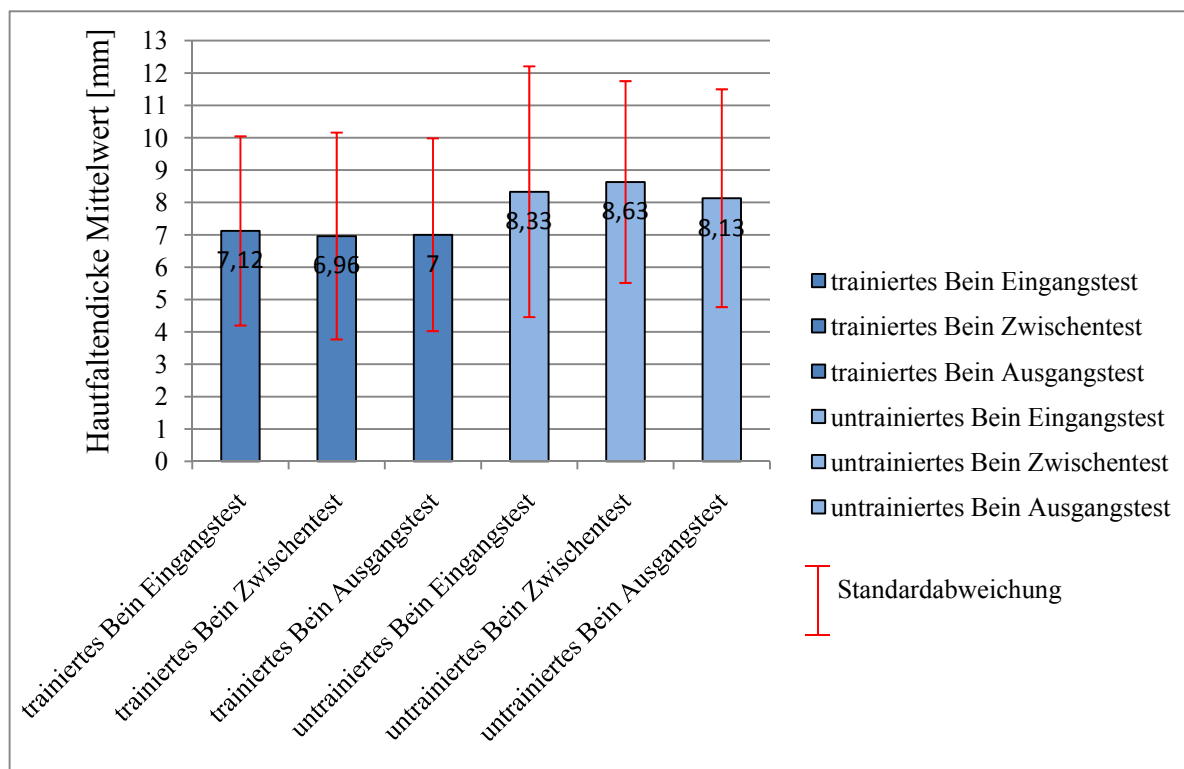


Abbildung 10: Veränderung der Hautfaltendicke, Gruppe 1 in mm

## ii. Umfangsmessung Trainingsgruppe 1; Belastungsdauer 7min (3 Serien)

Die mittleren Umfänge sind zu allen drei Messzeitpunkten gleich groß (39,0 cm). Das Umfangsminimum liegt im Eingangstest bei 34,6 cm und steigt im Zwischentest um 5mm. Im Ausgangstest liegt das Minimum bei 35,3 cm. Die Maximalwerte liegen konstant bei 45cm. Das Ergebnis des Friedmann-Tests zeigt, dass der beobachtete Wert deutlich unter dem kritischen liegt. Es sind keine signifikanten Änderungen zwischen den drei Messungen nachweisbar. Auch die Effektstärke, welche die praktische Signifikanz ausdrückt zeigt, dass es bei dieser Gruppe zu keinem Effekt gekommen ist, vgl. dazu Tabelle 17.

**Tabelle 21:** Gruppe 1; Umfang in Abhängigkeit von den Messzeitpunkten in cm

| Statistik  | Eingangstest | Zwischentest | Ausgangstest |
|------------|--------------|--------------|--------------|
| 1. Quartil | 37           | 37           | 37,2         |
| Median     | 39           | 39,2         | 39,1         |
| 3. Quartil | 40,4         | 40,4         | 40           |
| MW         | 39           | 39           | 39           |
| SD         | 2,4          | 2,4          | 2,3          |

| Friedman-Test:        |       |
|-----------------------|-------|
| Q (Beobachteter Wert) | 1,482 |
| Q (Kritischer Wert)   | 5,991 |
| FG                    | 2     |
| p-Wert                | n.s.  |

|              |                           |                           |                           |
|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Effektstärke | Eingangs- u. Zwischentest | Zwischen- u. Ausgangstest | Eingangs- u. Ausgangstest |
| Cohens d     | 0                         | 0                         | 0                         |

### 1. Unterschiede zwischen beiden Beinen pro Termin, Gruppe 1

Es bestehen zu keinem Messzeitpunkt signifikante Unterschiede zwischen den Beinen.

**Tabelle 22:** Unterschiede des Umfang pro Testzeitpunkt; Gruppe 1 in cm

| Umfang               | Min  | Max  | MW   | SD  | Sign. |
|----------------------|------|------|------|-----|-------|
| <b>Eingangstest:</b> |      |      |      |     |       |
| trainiertes Bein     | 34,6 | 45,0 | 39,0 | 2,4 | n.s.  |
| untrainiertes Bein   | 34,0 | 45,6 | 39,4 | 2,5 |       |
| <b>Zwischentest:</b> |      |      |      |     |       |
| trainiertes Bein     | 35,1 | 45,0 | 39,0 | 2,4 | n.s.  |
| untrainiertes Bein   | 34,0 | 45,7 | 39,5 | 2,6 |       |
| <b>Ausgangstest:</b> |      |      |      |     |       |
| trainiertes Bein     | 35,3 | 45,0 | 39,0 | 2,3 | n.s.  |
| untrainiertes Bein   | 34,6 | 45,3 | 39,3 | 2,4 |       |

### iii. Ergebnisse der Messung der Hautfaldendicke; Gruppe 2

In der Übungsgruppe 2 liegt das Hautfaldendickenniveau der trainierten Beine sehr deutlich unter dem Niveau der untrainierten Beine (s. Abb. 11). Die Mittelwerte der trainierten Beine liegen bei 7,71 mm im Eingangstest, 7,37 mm im Zwischentest und im Ausgangstest bei 7,5 mm. Ähnlich geringe Differenzen zwischen den Werten sind auch bei den untrainierten Beinen zu beobachten. Bei diesen liegen die Mittelwerte im Bereich von 9,25 mm und 8,42 mm. Es sind lediglich Differenzen von unter einem Millimeter (0,85 mm) zu beobachten.

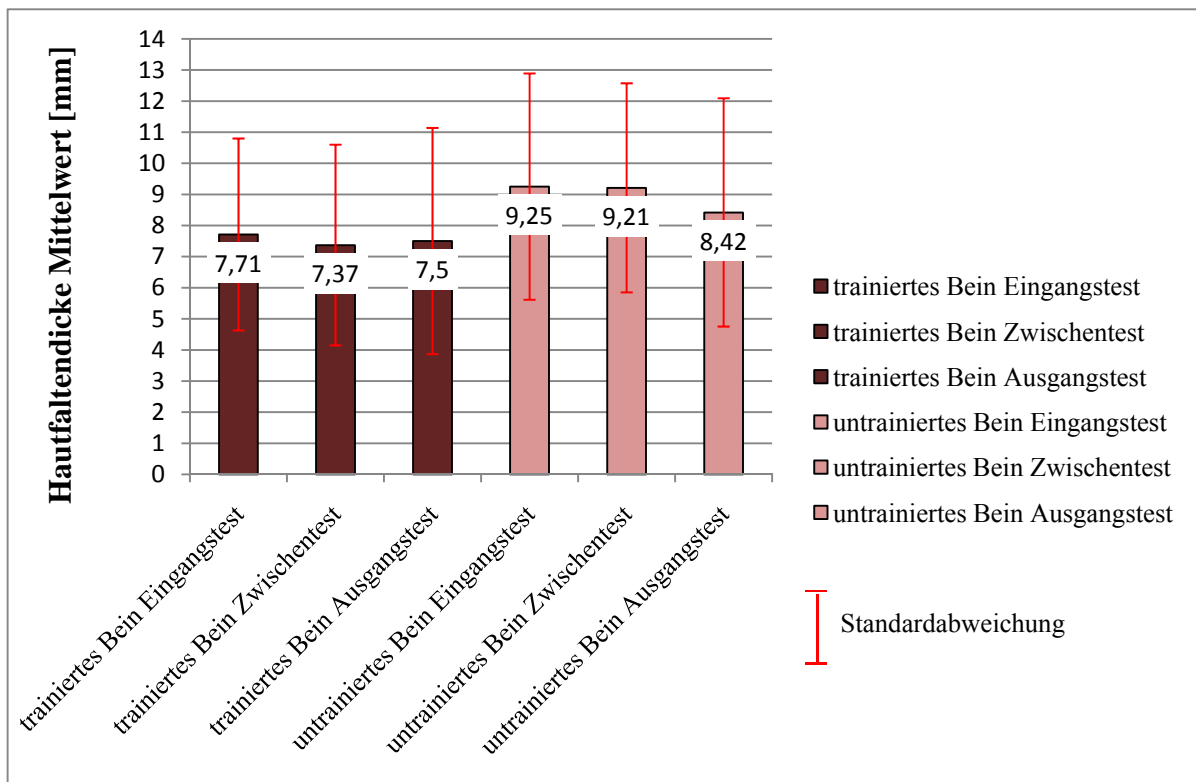


Abbildung 11: Veränderung der Hautfaltendicke, Gruppe 2

#### iv. Umfangsmessung Trainingsgruppe 2; Belastungsdauer 14min (6 Serien)

In dieser Gruppe lagen die mittleren Umfangs-Werte ebenfalls sehr nah beieinander. Im Eingangstest lagen die Werte mit 39,7 cm am höchsten und fielen im Zwischen- u. Ausgangstest auf 39,5 cm. Signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten sind anhand des p-Wertes von 0,134 nicht nachweisbar. Das Cohens d verzeichnet zwischen dem Ein- u. Zwischentest und dem Ein- u. Ausgangstest eine negative Effektstärke von -0,09 da sich der Umfang verringert hat, vgl. dazu Tabelle 19.

Tabelle 23: Gruppe 2; Umfang in Abhängigkeit von den Messzeitpunkten in cm

| Statistik  | Eingangstest | Zwischentest | Ausgangstest |
|------------|--------------|--------------|--------------|
| 1. Quartil | 37,7         | 37,9         | 37,7         |
| Median     | 40,0         | 40,0         | 39,9         |
| 3. Quartil | 41,1         | 40,9         | 40,9         |
| MW         | 39,7         | 39,5         | 39,5         |
| SD         | 2,4          | 2,3          | 2,3          |

| Friedman-Test:        |       |
|-----------------------|-------|
| Q (Beobachteter Wert) | 4,023 |
| Q (Kritischer Wert)   | 5,991 |
| FG                    | 2     |
| p-Wert                | n.s.  |

|              |                           |                           |                           |
|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Effektstärke | Eingangs- u. Zwischentest | Zwischen- u. Ausgangstest | Eingangs- u. Ausgangstest |
| Cohens d     | -0,09                     | 0                         | -0,09                     |

### 1. Unterschiede zwischen beiden Beinen pro Termin, Gruppe 2

Weder im Eingangs-, noch Zwischen- und Ausgangstest sind signifikante Unterschiede zwischen den Beinen, in Bezug auf ihren Umfang, festzustellen. Dies belegen auch die hohen p-Werte der einzelnen Messungen, vgl. Tabelle 20. Die Mittelwerte beider Beine sind zu allen drei Umfangsmessungen nahezu identisch und zeigen auch beide denselben Trend der Umfangsabnahme.

**Tabelle 24:** Unterschiede des Umfang pro Testzeitpunkt; Gruppe 2 in cm

| Umfang             | Min  | Max  | MW   | SD  | Sign. |
|--------------------|------|------|------|-----|-------|
| Eingangstest:      |      |      |      |     |       |
| trainiertes Bein   | 35,5 | 45,7 | 39,7 | 2,4 | n.s.  |
| untrainiertes Bein | 36   | 46,2 | 39,5 | 2,4 |       |
| Zwischentest:      |      |      |      |     |       |
| trainiertes Bein   | 35,7 | 45,5 | 39,5 | 2,3 | n.s.  |
| untrainiertes Bein | 35,7 | 46,0 | 39,4 | 2,4 |       |
| Ausgangstest:      |      |      |      |     |       |
| trainiertes Bein   | 35,3 | 45,6 | 39,5 | 2,3 | n.s.  |
| untrainiertes Bein | 35,4 | 45,8 | 39,4 | 2,4 |       |

### v. Ergebnisse der Messung der Hautfaldendicke; Gruppe 3

Die Mittelwerte der drei Messzeitpunkte liegen bei den trainierten Beinen sehr nah zusammen. Sie bewegen sich vom Eingangstest mit 6,67mm um 0,16mm nach oben im Zwischentest und fallen dann wieder um 0,29mm im Ausgangstest. In ähnlich kleinen Differenzen schwanken die Mittelwerte bei den untrainierten Beinen. Lediglich das Eingangsniveau liegt hier bei 9,29mm und damit 2,62mm höher als bei den trainierten Beinen, siehe dazu auch Abbildung 12.

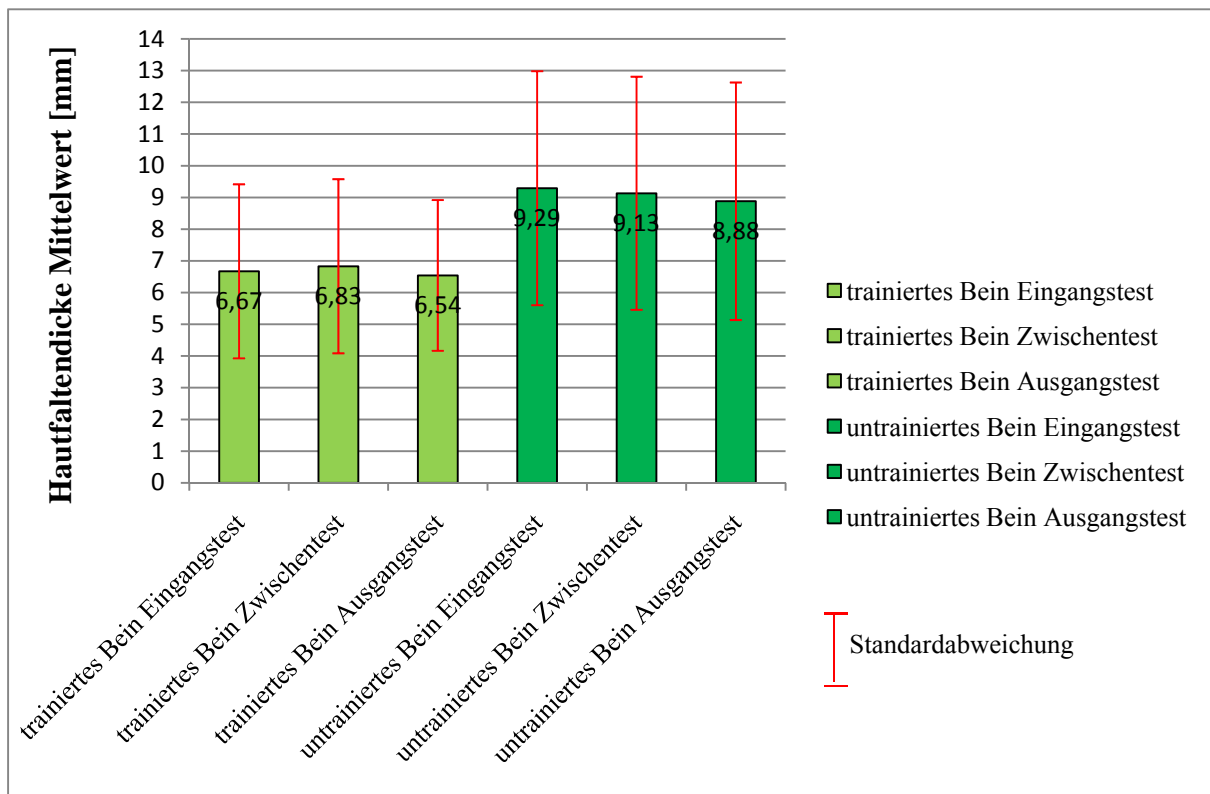


Abbildung 12: Veränderung der Hautfaltendicke, Gruppe 3

#### vi. Umfangsmessung Trainingsgruppe 3; Belastungsdauer 21min (9 Serien)

Die mittleren Werte des Unterschenkelumfangs nehmen mit zunehmender Trainingsdauer ab (s. Tabelle 21). Signifikante Unterschiede im Umfang zwischen den drei Zeitpunkten sind nachweisbar ( $p < 0,05$ ), d.h. es liegt eine signifikante Verringerung des Umfangs vor. Hierbei unterscheiden sich die Umfänge signifikant ( $p < 0,05$ ) vom Eingangs- zum Zwischentest und signifikant vom Eingangs- zum Ausgangstest ( $p < 0,05$ ). Es wird zwar durch die p-Werte eine theoretische Signifikanz festgestellt, die praktische Signifikanz liegt hingegen bei  $d = -0,03$  oder  $-0,06$ , so dass hier von keinem Effekt gesprochen werden kann.

Tabelle 25: Gruppe 3; Umfang in Abhängigkeit von den Messzeitpunkten in cm

| Statistik  | Eingangstest | Zwischentest | Ausgangstest |
|------------|--------------|--------------|--------------|
| 1. Quartil | 36,8         | 36,7         | 36,6         |
| Median     | 38           | 37,8         | 37,8         |
| 3. Quartil | 39,7         | 40           | 39,7         |
| MW         | 38,6         | 38,5         | 38,4         |
| SD         | 3,1          | 3,1          | 3,1          |

| Friedman-Test:        |       |
|-----------------------|-------|
| Q (Beobachteter Wert) | 6,376 |
| Q (Kritischer Wert)   | 5,991 |
| FG                    | 2     |



|        |       |
|--------|-------|
| p-Wert | <0,05 |
|--------|-------|

| p-Werte:  | Eingangstest | Zwischentest | Ausgangstest |
|---|--------------|--------------|--------------|
| Eingangstest                                      | 1            | <0,05        | <0,05        |
| Zwischentest                                      | <0,05        | 1            | n.s.         |
| Ausgangstest                                      | <0,05        | n.s.         | 0            |
| Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau: 0,0167 |              |              |              |

| Effektstärke | Eingangs- u. Zwischentest | Zwischen- u. Ausgangstest | Eingangs- u. Ausgangstest |
|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Cohens d     | -0,03                     | -0,03                     | -0,06                     |

### 1. Unterschiede zwischen beiden Beinen pro Termin; Gruppe 3

Zu keinem Zeitpunkt der drei Messungen können signifikante Unterschiede zwischen den Beinen festgestellt werden.

**Tabelle 26:** Unterschiede des Umfang pro Testzeitpunkt; Gruppe 3 in cm

| Umfang             | Min  | Max  | MW   | SD  | Sign. |
|--------------------|------|------|------|-----|-------|
| Eingangstest:      |      |      |      |     |       |
| trainiertes Bein   | 33,5 | 47,8 | 38,6 | 3,1 | n.s.  |
| untrainiertes Bein | 34,1 | 48   | 38,8 | 3,1 |       |
| Zwischentest:      |      |      |      |     |       |
| trainiertes Bein   | 33,8 | 47,3 | 38,5 | 3,1 | n.s.  |
| untrainiertes Bein | 34   | 47,9 | 38,8 | 3,1 |       |
| Ausgangstest:      |      |      |      |     |       |
| trainiertes Bein   | 33,8 | 47,4 | 38,4 | 3,1 | n.s.  |
| untrainiertes Bein | 34,2 | 47,7 | 38,8 | 3,1 |       |

### vii. Ergebnisse der Messung der Hautfaltendicke, Kontrollgruppe

Der Mittelwert der untrainierten Beine beträgt 9,79 mm und fiel innerhalb der Treatmentphase um 0,53 mm auf 9,26 mm. Die Standardabweichung blieb unverändert bei 4,7 mm.

### viii. Umfangsmessung Kontrollgruppe; keine Stimulation

Der mittlere Umfangswert aus dem Eingangstest liegt bei 38,4 cm und veränderte sich bis zum Ausgangstest um einen Millimeter, auf 38,5 cm. Der Maximalwert blieb gleich bei 43 cm und das Minimum verringerte sich um zwei Millimeter.

**ix. Vergleich der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe bezogen auf den Unterschenkelumfang**

Es ergaben sich im Eingangstest keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Da es bei der Unterschenkelmessung im Eingangstest keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gibt, wird auch hier von einer Vergleichbarkeit ausgegangen. Die höchsten mittleren Umfangswerte lagen bei der zweiten Gruppe (39,7 cm), die geringsten bei der Kontrollgruppe (38,4 cm). Die erste und dritte Gruppe bewegten sich zwischen diesen Werten, vgl. dazu auch Tabelle 23. Diese absoluten Unterschiede sind jedoch nicht signifikant.

**Tabelle 27:** Vergleich Trainingsgruppen mit der Kontrollgruppe: Umfang im Eingangstest in cm

| Umfang                        | Min  | Max  | MW   | SD  |
|-------------------------------|------|------|------|-----|
| Eingangstest   Gruppe 1       | 34,6 | 45   | 39   | 2,4 |
| Eingangstest   Gruppe 2       | 35,5 | 45,7 | 39,7 | 2,4 |
| Eingangstest   Gruppe 3       | 33,5 | 47,8 | 38,6 | 3,1 |
| Eingangstest   Kontrollgruppe | 34   | 43   | 38,4 | 2,3 |

| Kruskal-Wallis-Test:  |       |
|-----------------------|-------|
| K (Beobachteter Wert) | 5,086 |
| K (Kritischer Wert)   | 7,815 |
| FG                    | 3     |
| p-Wert                | n.s.  |

Bei der dritten Messung (Ausgangstest, Tabelle 24) rufen die absoluten Unterschiede keine Signifikanz hervor. Die zweite Gruppe hat im Ausgangstest die höchsten mittleren Werte, aber im Vergleich zum Eingangstest hat sie zwei Millimeter abgenommen. Bei der ersten Gruppe blieben beide Mittelwerte gleich (39cm).

**Tabelle 28:** Vergleich Trainingsgruppen mit der Kontrollgruppe: Umfang im Ausgangstest in cm

| Umfang                        | Min  | Max  | MW   | SD  |
|-------------------------------|------|------|------|-----|
| Ausgangstest   Gruppe 1       | 35,3 | 45,0 | 39,0 | 2,3 |
| Ausgangstest   Gruppe 2       | 35,3 | 45,6 | 39,5 | 2,3 |
| Ausgangstest   Gruppe 3       | 33,8 | 47,4 | 38,4 | 3,1 |
| Ausgangstest   Kontrollgruppe | 33,8 | 43,0 | 38,5 | 2,3 |

| Kruskal-Wallis-Test:  |       |
|-----------------------|-------|
| K (Beobachteter Wert) | 4,372 |
| K (Kritischer Wert)   | 7,815 |
| FG                    | 3     |
| p-Wert                | n.s.  |

## **6. Diskussion**

### **Anthropometrische Daten**

Während der sechswöchigen Studie blieben das Alter ( $25,47 \pm 1,6$  Jahre) und die Körpergröße ( $1,80\text{m} \pm 0,07\text{m}$ ) der Probanden unverändert. Ebenso lagen Schwankungen des Körpergewichts im Bereich von unter einem Prozent, was defacto keine Relevanz im Sinne einer Gewichtszunahme bzw. -abnahme hat.

### **Unterschenkelumfangs- und Hautfaltendickenmessung**

Die Unterschenkelmessungen zeigten bei keiner Gruppe bedeutende Zunahmen des Umfangs, welche auf ein Muskeldickenwachstum hätte schließen lassen können. In der dritten Gruppe reduzierte sich sogar der Umfang im Mittel um jeweils einen Millimeter pro Messzeitpunkt. In Anbetracht der üblichen Messungenauigkeit bei Umfangsmessungen, kann man auch diese Entwicklung gänzlich vernachlässigen. Besonders hervorzuheben ist dabei die Einschränkung hinsichtlich des Messfehlers, die sich bei der Körperfettmessung mittels Kalipermetrie ergaben, welche bei mindestens 3% Abweichung liegt (Herm, 2003). Somit sind auch die aufgezeigten Varianzen dieser Methode zu erklären. Ziel dieser Anwendung war es, eine mögliche Zunahme des Unterschenkelumfangs auf verifizierbare Einlagerung im Unterhautfettgewebe hin zu untersuchen.

Möglicher Erklärungen für ein Ausbleiben eines Muskeldickenwachstums könnten einerseits die zu kurze Interventionszeit sein, da Hypertrophieeffekte frühestens nach vier bis sechs Wochen eintreten – bei Slow-twitch-Fasern, wie beim M. soleus vorwiegend vorhanden, sogar erst nach ca. acht Wochen (Olivier, 2008; Grosser, 1998). Andererseits könnte man ebenso annehmen, dass womöglich die nötigen Intensitäten zur Erzeugung von Muskeldickenwachstum innerhalb eines solch kurzen Zeitraums durch die Stimulationsreize nicht erreicht wurden. Man muss berücksichtigen, dass üblicherweise Reizintensitäten im Training über Angaben orientiert an der Maximalkraft (isometrische Maximalkraft oder zumindest am dynamischen Einwiederholungsmaximum) gesteuert werden. Um Dickenwachstum zu erzielen, werden Belastungsintensitäten im Bereich von 80 % bis 90 % (teilweise sogar von 70 % bei Untrainierten bis 95 % bei Hochtrainierten) der Maximalkraft empfohlen (Grosser/Starischka, 1998). Das subjektive Spannungsempfinden bei einer äußerlich zugeführten Stimulation lässt sich nur schwer mit der voran genannten Methode in Einklang bringen, da die Empfindung zwischen willkürlich und künstlich erzeugter Muskelspannung dabei stark divergieren kann. Ferner kann der Abgleich der

Muskelreaktionen in der Ultraschalldarstellung bei 60 % Feldstärke und 30 Hertz mit den maximalen Willkürkontraktionen auch nicht als verlässliche Methode herangezogen werden, um eine ähnliche Reizsetzung wie beim Hypertrophietraining zu sichern. Zusätzlich kann nicht von einer Erschöpfung i. S. einer starken Ermüdung der Muskulatur nach einer Trainingseinheit ausgegangen werden, wie es hinlänglich postuliert wird (Grosser/Starischka, 1998). Werden die Ergebnisse unter Berücksichtigung der angewandten Methode zur Messung der Umfangsveränderung betrachtet, kann dies auch bedeuten, dass gewisse Effekte (Querschnittsvergrößerung) zwar stattgefunden haben, diese jedoch nicht nachweisbar waren. Die Methode der Umfangsmessung mit Maßband und gleichzeitiger Kontrolle der Hautfaltendicke durch Kalipermetrie ist wenig geeignet, um geringfügige Muskelquerschnittsveränderungen zu identifizieren. Aufgrund organisatorischer und infrastruktureller Bedingungen waren exaktere Methoden wie Muskelbiopsie oder Ultraschallmessungen nicht möglich.

Im Kontrast zur Annahme der ungenügenden Reizintensitätswahl steht jedoch die positive Entwicklung der Kraftfähigkeiten.

### **Maximalkraftmessungen**

Vor dem Hintergrund der hochsignifikanten ( $p = 0.0001$ ) Erhöhung der isometrischen Maximalkraftleistung bei allen drei Interventionsgruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe kann man nun i. S. d. Zielstellung die Ergebnisse näher beleuchten, um geeignete Empfehlungen zum Umfang einer elektromagnetischen Stimulation abzuliefern. Ersichtlich wird dabei, dass bereits aus einer Applikation von insgesamt 12 x 7 Minuten (Gruppe 1) der gewählten Intensität deutliche Effekte in der Maximalkraft nach 6 Wochen des Trainings resultieren (+ 15,4 % Steigerung zu eingangs). Eine Behandlung von 12 x 14 Minuten (Gruppe 2) bringt sogar eine Steigerung um 19,3 %, wobei sich durch eine weitere Umfangserhöhung auf 12 x 21 Minuten (Gruppe 3) keine weiteren Zugewinne hinsichtlich der Kraftsteigerung erschließen. Im Vergleich dazu verzeichnete die Kontrollgruppe erwartungsgemäß keine signifikanten Veränderungen (+ 0,61 %).

Mit einem Konfidenzintervall von 5 % ergibt sich somit, dass bei gleichem N (24) in der ersten Übungsgruppe bei 22 Probanden, in der zweiten Übungsgruppen bei 24 Probanden und in der dritten Übungsgruppe bei 23 Probanden eine deutliche Kraftsteigerung ersichtlich wurde.

Die Ermittlung der jeweiligen Effektstärke (Cohens's d) zu den verschiedenen Messzeitpunkten nach drei und sechs Wochen macht ebenfalls deutlich, dass nach der Hälfte

der Anwendungen, nämlich nach 6 Trainingseinheiten, nur kleine bis mittlere Effektstärken zu erwarten sind (Gruppe 1 = 0.38; Gruppe 2 = 0.61; Gruppe 3 = 0.37), wohingegen nach 12 Einheiten starke Wirkungen messbar werden (0.92; 1.16 ; 0.93). Man kann dies damit erklären, dass es einerseits in biologischen Systemen eine zeitlich verzögerte Adaption auf wiederkehrende Trainingsreize gibt und ferner bestimmte Trainingshäufigkeiten erreicht werden müssen, um eine entsprechende Reaktion des Organismus zu erzielen (Schlumberger & Schmidtbleicher, 1998). Unterstützt wird diese biologische Gesetzmäßigkeit auch dadurch, dass zumindest bei Gruppe 1 und 3 der Effekt in den zweiten 3 Wochen der Behandlung größer ausfällt als in dem ersten Abschnitt (0.47 vs. 0.38 und 0.56 vs. 0.37). Lediglich Gruppe 2 fällt diesbezüglich insofern aus dem zu erwartenden Rahmen (0.52 vs. 0.61), als dass sich bereits im ersten Trainingsabschnitt starke Trainingswirkungen auf die Kraftfähigkeit manifestieren. Diese Entwicklung bei der Gruppe mit dem mittleren Trainingsumfang könnte den leicht stärker ausgeprägten Kraftzuwachs im Vergleich zur Gruppe mit den höchsten Umfängen erklärbar machen. Denkbar wäre hier eine Art Sättigungs- oder Deckeneffekt, der nach sechs Wochen der Belastung mit dieser Intensität eintritt und der gemäß des Trainingsprinzips zur Steigerung der Belastung einer progredienten Anpassung der Intensität bedürfte, um weitere Veränderungen einzuleiten (Schnabel et al, 2003).

Die Einordnung der Ergebnisse vor dem Hintergrund vorangegangener Untersuchungen zur elektromagnetischen Stimulation und funktionellen Elektrostimulation wird ausgiebig in der Arbeit von Jakob und Ammermann (2010) beleuchtet. Als verantwortlich für die Steigerung der Kraftfähigkeiten lassen sich in der Hauptsache verbesserte Mechanismen der neuronalen Kontrolle und Ansteuerung der behandelten Muskulatur anführen. Die betrifft im Einzelnen Prozesse der intramuskulären Koordination wie auch die der Sensomotorik. Dafür sprechen auch die in dem Interventionszeitraum eintretenden Effekte in den Kraftfähigkeiten, welche allein hinsichtlich Reizumfang und –dauer schon auf Koordinationsverbesserungen schließen lassen (Grosser et al., 1998). Basierend auf den hier gewählten Belastungsnormativa und weil u. a. eine hohe Maximalkraft Grundlage für große Kraftausdauerleistungen darstellt, kann ebenfalls eine parallele, positive Entwicklung der Kraftausdauer erwartet werden. Diese Dimension der menschlichen Kraftfähigkeit abzugreifen ist jedoch sehr aufwändig und außerdem fehleranfällig, da die dabei oftmals angewendeten sportmotorischen Tests noch deutlich stärker von motivationalen Aspekten abhängig sind als Maximalkrafttestungen (Jakob und Ammermann, 2010).

Zusammenfassend kann man sagen, dass die vorliegenden Ergebnisse mit den in der Literatur beschriebenen Erkenntnissen nur unzulänglich beschreibbar sind. Die Vergleichbarkeit ist

weitestgehend von der Wahl der Belastungsparameter und der vorliegenden technologischen Umsetzung, von den Anwendungsbereichen, aber auch von der Zielsetzung einer Applikation elektromagnetischer Stimulation abhängig, was hier eine theoretische Untermauerung hinsichtlich der noch spärlichen Literatur erschwert. Des Weiteren werden notgedrungen Parallelen zur funktionellen elektrischen Muskelstimulation EMS gezogen, welche aus wissenschaftlicher Sicht nur bedingt zulässig ist.

## **7. Schlussbemerkung, Ausblick und Empfehlungen**

Die elektromagnetische Muskelstimulation bietet eine interessante und wirkungsvolle Möglichkeit zum Training bestimmter Muskelgruppen. Ein deutlicher Vorteil liegt in der berührungslosen und einfachen Applikation, womit bei optimaler Positionierung zum Magnetfeld ohne invasive Methoden auch tiefer liegendes Muskelgewebe (z. B. Beckenbodenmuskulatur) gezielt erreicht werden könnte (Polson, 1982 und Barker, 1985). Zumindest zeigen die hier vorliegenden Ergebnisse bei gesunden, jungen Probanden ermutigende Tendenzen. Man könnte sogar erwarten, dass bei einer Anwendung im ursprünglichen Sinne, nämlich bei deutlich abgeschwächter Muskulatur, noch stärkere Effekte einträten, was sich bereits bei hochgradig erkrankten COPD-Patienten erwiesen hatte (Bustamante, 2008 und 2010). Dies könnte nun in einem nächsten Schritt im Rahmen einer klinischen Studie zu Schwächen der Beckenbodenmuskulatur erfolgen. Anzumerken wäre dabei, dass zu Therapiebeginn über eine allmählich steigende Annäherung hinsichtlich Intensität und Umfang nachgedacht werden sollte, da besonders in prekären Therapiefällen eine so deutlich wahrnehmbare Stimulation, wie hier erprobt, zu möglichen Irritationen im Verhalten der Patienten führen könnte. Zudem wäre es notwendig, eine womöglich gesteigerte Effizienz einer Anwendung mit progressiv zunehmenden Intensitäten nach einer gewissen Gewöhnungszeit zu eruieren. Ganz grundsätzlich sollten auch weibliche Probanden in folgende Studien eingeschlossen werden, um etwaige geschlechtsspezifische Unterschiede eruieren zu können.

So dürfte zu erwarten sein, dass sich diese Methode in Training und Therapie etablieren kann.

Im Weiteren könnte man in Forschung und Anwendung folgende Aspekte berücksichtigen:

### **1. Anwendungsdauer und Pausenzeiten**

Um innerhalb des praktischen Betriebes die Anwendung zu ökonomisieren und das Gerät möglichst effektiv auszunutzen, sind Bestrebungen nachvollziehbar, welche die Applikationsdauer der Stimulation auf ein sinnvolles und effektives Minimum zu reduzieren versuchen. Was den Umfang der Reizstimulation betrifft, so zeigt die hier angeführte Studie deutlich, dass das Protokoll mit den 6 Serien à 10 x 8 Sekunden Stimulation die größtmöglichen Ergebnisse hinsichtlich der geprüften Umfänge bei gesunder und altersentsprechend gut entwickelter Wadenmuskulatur erlangt. Über Folgen einer Reduktion der effektiven Stimulationsdauer auf z. B. 10 x 7 oder weniger Sekunden oder auf nur 9 oder weniger Stimulationen pro Serie kann nur spekuliert werden. Zu vermuten ist, dass sich die positiven Auswirkungen dementsprechend ebenso vermindern werden. In welchem Ausmaß und in welcher Art und Weise diese Reduktion einträte (linear oder exponentiell), kann hier nicht geklärt werden.

Bei den Pausenzeiten wäre jedoch eine Variation denkbar. Wenngleich die Wirkungen höchstwahrscheinlich innerhalb der intramuskulären Koordination liegen, die Umfänge und Pausen sich jedoch eher an die Schemata zur Steigerung der Kraftausdauer im herkömmlichen Trainings- und Übungsbetrieb und den Empfehlungen der Elektrostimulation richten, so wäre laut den subjektiven Aussagen der Probanden während der Studie im besonderen Fall der Magnetfeldstimulation eine Verminderung der Serienpausenzeiten (z. B. von 45 auf 30 Sekunden) zu erwägen. Auch deshalb, weil tiefgreifende Resyntheseprozesse auch bei 45 Sekunden nicht zu erwarten sind (welche wohl hier auch nicht limitierend zu sein scheinen) und kurzfristige, neurologische Regenerationsprozesse i. S. einer vollständigen Wiederherstellung der Erregungsleitung und elektromechanischer Koppelung anscheinend nicht erforderlich sind (vgl. Ehlenz et al., 1995).

Bei einer weiteren oder auch nur ausschließlichen Reduktion der Pausen zwischen den einzelnen 8-sekündigen Stimulationen (z. B. von 2 auf 1 Sekunde oder weniger) ist insofern Vorsicht gebotengü, als dass u. U. die behandelte Muskulatur zwischen den Impulsen nicht mehr ausreichend relaxiert und sich dabei eine tetanische Dauerkontraktion einstellen könnte, welche von den Probanden über eine Dauer von demnach mehr als 80 Sekunden als sehr schmerzhaft eingestuft werden könnte (vgl. dazu Muskelkrämpfe). Strukturell-morphologische Verletzungen innerhalb der Muskulatur können dann nicht ausgeschlossen werden.

## **2. Reizstufen/Reizintensität**

Eine gebräuchliche Methode der Intensivierung ist die Trainingsprogression. Sowohl mittelfristig innerhalb des Mesozyklus im Trainingsprozess als auch während einer Trainingseinheit gibt es biologisch bedingte Steigerungen der Trainingsbelastungen. Erstgenanntes ist durch Adaption des Organismus an bestehende Reize und folglich die Notwendigkeit der Reizvariation bzw. -erhöhung bedingt, das Zweite kann man der kurzfristigen Anpassung – u. a. Durchblutungssteigerung, Steuerung der Rezeptorenempfindlichkeit, Optimierung der nervalen Impulsübertragung, Beschleunigung von relevanten Stoffwechselfvorgängen (Hollmann/Hettinger, 2000) – an spezifische Belastungen und der damit in Verbindung stehenden erhöhten Belastbarkeit von Strukturen zuschreiben. In der Elektrostimulation – mit dem Ziel des Erhalts und auch des Aufbaus von Muskulatur – ist eine stetige Steigerung der Reizhöhe üblich, um maximale Effekte zu erzielen (van den Berg, 2007). Die subjektive Wahrnehmung der Muskelspannungsstärke und die Fähigkeit einer individuellen Abschätzung der Reizverträglichkeit geben hierbei wohl verlässliche Anhaltspunkte zur Steuerung der Intensität, da vordergründig die Schmerzwahrnehmung als limitierender Faktor zu nennen ist. In der Magnetfeldstimulation tritt dieses Phänomen durch das Fehlen der Schmerz verursachenden Elektroden in den Hintergrund (Angerer, 2006). Lediglich das Empfinden der Muskelspannung entscheidet über eine eventuelle Reizstärkenerhöhung. Somit wäre es bei der Stimulation mittels elektromagnetischen Feldern durchaus logisch, in einem nächsten Schritt mit stetig progressiven Anpassungen der Feldstärke nach subjektivem Ermessen oder kontrolliert und stufenweise nach einer Eingewöhnungsphase von beispielsweise 4-6 Einheiten zu arbeiten. Zu beachten ist hierbei, dass aus o. g. Gründen u. U. höhere Intensitäten erreicht werden könnten als bei der Stimulation mit Elektroden, folglich auch Überbeanspruchungen nicht auszuschließen sind.

Weitere Intensivierungen über die Anpassung der Stimulationsfrequenzen werden hier nicht berücksichtigt, da in der Literatur Stimulationen mit 20-30Hz als ausreichend deklariert werden (Angerer, 2006 und Hering, 2010). Zudem ähneln unter Ultraschallkontrolle – wie oben beschrieben – Muskelreaktionen bei einer Stimulation mit 30Hz jenen unter maximalen willkürlichen Kontraktionen (Penka/Pylypiw, 2010).



### **3. Trainings-/Applikationshäufigkeit**

Diese Studie zeigt eindrucksvoll, dass eine weitere Umfangserhöhung pro Einheit keine weiteren Zuwächse in den Kraftfähigkeiten erzielt. Anscheinend sind die erreichbaren Effekte mit 6 Serien pro Trainingseinheit maximal ausgeschöpft. Ausgehend von hauptsächlich neuromuskulären Effekten und deren Regenerationszeiten von mindestens 10 Stunden für eine 90-95%ige Regeneration und einer vollen Erholung nach 36-48 Stunden (Ehlenz, 1995), ist eine Trainingsintensivierung über den Umfang in erster Linie durch zusätzliche Anwendungen pro Woche indiziert (Trainingshäufigkeit pro Woche). Bei vollen Regenerationszeiten wären bis zu 4 Einheiten pro Woche möglich. Bei einer Steigerung der Trainingshäufigkeit ist eine anfängliche Reduktion des Umfanges pro Einheit (z. B. von 6 auf vorerst 4 Serien) zu diskutieren, damit entsprechend dekonditionierte Anwender eine Überbeanspruchung vermeiden. Man beachte: 3 anstatt 2 Einheiten bedeutet bei gleichem Protokoll eine Umfangserhöhung um 50%.

### **4. Transferleistung**

Vor dem Hintergrund der schnellstmöglichen Nutzbarmachung etwaiger Trainingseffekte wären Techniken zur willkürlichen Ansteuerung der entsprechenden Zielmuskulatur von Bedeutung. Reiser (2005) konnte eindrucksvoll aufweisen, dass bereits eine mentale Vorstellung von Muskelkontraktionen Kraftgewinne in der entsprechenden Muskulatur bewirken. Solche Vorstellungstechniken wären einfach zu vermitteln und leicht durch den Anwender einzubringen, auch bei Menschen mit massiven Defiziten in der Ansteuerung der Beckenbodenmuskulatur. Um die Ergebnisse weiter zu optimieren, wäre eine Einbindung willkürlicher Kontraktionen synchron zur Magnetstimulation wünschenswert.

### **5. Variation gemäß Zielsetzung**

Als ein weiteres mögliches Wirkungsfeld der Magnetstimulation stellen diverse Reizkonfigurationen mit Ausrichtung auf bestimmte Zielrichtung dar. Je nachdem, welche Grunderkrankung des Beckenbodens vorliegt, könnten die Belastungsparameter so variiert werden, dass bestimmte Effekte in den Vordergrund rücken. Eine Konfiguration mit z. B. hohen bis nahezu maximalen Reizintensitäten und den entsprechenden Pausen und Umfängen könnte bei abgeschwächter

Muskulatur dennoch zu Hypertrophieeffekten führen. Neuromuskuläre Defizite in der Ansteuerung der Muskulatur (Inkontinenz bei Husten, Niesen, Heben, usw.) bedürfen laut Literatur wiederum maximale (Frequenz und Intensität), aber sehr kurze Reize mit entsprechend langen Pausenzeiten zur Regeneration (am besten mit o. g. mentalen Techniken). Und eine wenig ausdauertrainierte Muskulatur profitiert von einem stoffwechelorientierten Training mit geringen bis mittleren Reizintensitäten, eher geringeren Frequenzen (ST-Fasern) und hohen Umfängen.

Bei atrophierter und koordinativ-defizitärer Beckenbodenmuskulatur wäre ein Vorgehen wie folgt wünschenswert:

1. Muskelaufbau (Minimum 8 Wochen bei anschließendem IK-Training, Deckeneffekt 10-12 Wochen)
2. Muskuläre Ansteuerung (IK-Training: mind. 4 Wochen bei vorherigem Muskelaufbautraining, Deckeneffekt bei 6-8 Wochen)
3. Kraftausdauertraining (mind. 4 Wochen, bestenfalls unterstützt durch tägliche „normale“ Beanspruchung)

Zu beachten ist, dass diese Empfehlungen weitestgehend aus dem sportwissenschaftlichen Bereich entlehnt sind (Ehlenz, 1995; Neumann et al., 2007) und jene Angaben größtenteils auf den Leistungssport ausgerichtet sind. Generell bedarf es bei weniger gut trainierten Menschen i. d. R. geringere Reize (Umfang und Intensität), um Anpassungserscheinungen zu erzielen. Jedoch verzögern sich u. U. aufgrund der niedrigeren Belastbarkeit verschiedener Gewebearten (z. B. hyaliner Gelenkknorpel oder Kapselbandapparat) die Leistungsfortschritte und das Erreichen von Deckeneffekten. Entsprechend gestaltete Reizkonfigurationen könnten vorab Gegenstand weiterer Untersuchungen darstellen.

Mögliche Reizkonfigurationen mit Fortschrittsschema:

| Ziel  | Stimulation  | Umfang/TE  | Umfang/Woche   | Gesamtumfang   |
|---|--|--|--|--|
| Steigerung der maximalen isometrischen Kraftfähigkeit                                   | Serie: 10 x 8s<br>Pause: 2s<br>Frequenz: 30Hz<br>Intensität: 60%<br>vorweg 2TEs mit 40% zur Gewöhnung          | 6 Serien<br>Serienpause: 45s                                 | 2 TEs/Woche  | 12 TEs (6 Wochen)  |
| Progression 1<br>Intensivierung über reduzierte Pausenzeiten                            | Serie: 10 x 8s<br>Pause: 2s<br>Frequenz: 30Hz<br>Intensität: 60%<br>vorweg 2TEs mit 40% zur Gewöhnung          | 6 Serien<br>Serienpause: 30s                                 | 2 TEs/Woche  | 12 TEs (6 Wochen)  |
| Progression 2<br>Stufenweise Intensivierung nach den ersten 6 TEs                       | Serie: 10 x 8s<br>Pause: 2s<br>Frequenz: 30Hz<br>Intensität: 80%   | 6 Serien<br>Serienpause: 45s                                 | 2 TEs/Woche  | 6 TEs (3 Wochen) nach 3-wöchigem Belastungsschema wie oben beschrieben |
| Progression 3<br>Stetige Intensivierung nach individuellem Ermessen                     | Serie: 10 x 8s<br>Pause: 2s<br>Frequenz: 30Hz<br>Intensität: beginnend mit 40% bis maximal mögliche Intensität | 6 Serien<br>Serienpause: 45s                                 | 2 TEs/Woche  | 12 TEs (6 Wochen)  |
| Progression 4<br>Intensivierung über den Umfang   | Serie: 10 x 8s<br>Pause: 2s<br>Frequenz: 30Hz<br>Intensität: 60%<br>vorweg 2TEs mit 40% zur Gewöhnung          | 6 (5) Serien<br>Serienpause: 45s                             | 2 TEs/Woche →<br>3TEs/Woche nach den ersten 6 TEs, bei Bedarf in der ersten Intensivierungswoche lediglich 5 Serien/TE   | 15 TEs (6 Wochen)  |
| Progression 5<br>Intensivierung über Kombination von Intensitäts- und Umfangssteigerung | Serie: 10 x 8s<br>Pause: 2s<br>Frequenz: 30Hz<br>Intensität: beginnend mit 40% bis maximal mögliche Intensität | 6 Serien<br>Serienpause: 45s (erfahrungsgemäß evtl. nur 30s) | 2 TEs/Woche →<br>3TEs/Woche nach den ersten 6-8 TEs, bei Bedarf in der ersten Intensivierungswoche lediglich 5 Serien/TE | 14 bzw. 15 TEs (6 Wochen)  |



## 8. Literatur

- Angerer, B. (2006). Fortschritte in der Erforschung der repetitiven peripheren Magnetstimulation. Dissertation. [http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?idn=98510984x&dok\\_var=d1&dok\\_ext=pdf&filename=98510984x.pdf](http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?idn=98510984x&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=98510984x.pdf)  
Zugriff am 27.04.2011
- Barker, A.T.; Jalinous, R.; Freeston, I.L. (1985). *Noninvasive magnetic stimulation of human motor cortex*. Lancet, vol. 1, pp. 1106-1107, 1985.
- Bustamante, V.; Casanova, J.; López de Santamaría, E.; Mas, S.; Sellarés, J.; Gea, J.; Gáldiz, J.B.; Barreiro, E. (2008). *Redox balance following magnetic stimulation training in the quadriceps of patients with severe COPD*. Free Radical Research 2008 Nov; Vol. 42 (11-12), S. 939-948.
- Ehlenz, H.; Grosser, M.; Zimmermann, K.; Zintl, F. (1995). *Krafttraining: Grundlagen, Methoden, Übungen, Leistungssteuerung, Trainingsprogramme*. Zürich: BLV-Sportwissen.
- Grosser, M.; Starischka, S. & Zimmermann, E. (1998). *Das neue Konditionstraining* (7. Aufl.). München: BLV Sportwissen.
- Hering, P. (2010): Motorkortikale Erregbarkeit nach repetitiver peripherer Magnetstimulation – Vergleich zweier Stimulationsverfahren. Dissertation. [http://edoc.ub.uni-muenchen.de/12928/3/Hering\\_Philipp.pdf](http://edoc.ub.uni-muenchen.de/12928/3/Hering_Philipp.pdf) Zugriff am 27.04.2011.
- Herm, K.-P.: *Standards der Sportmedizin. Körperfettmessung*. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2003: Jg. 54. Nr. 5.
- Hollmann, W.; Strüder, H. K. (2000). *Sportmedizin. Grundlagen für Aktivität, Training und Präventivmedizin*. 4. Aufl. Schattauer GmbH, Stuttgart.
- Jakob, M.; Ammermann, P. (2010). *Effekte elektromagnetischer Stimulation auf die isometrische Maximalkraft der Skelettmuskulatur. Eine experimentelle Studie*. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Abteilung für Sportwissenschaft / Sportmedizin – Sport und Gesundheit am Institut für Sportwissenschaft und Sport der Universität der Bundeswehr München.
- Neumann, G.; Pfützner, A.; Berbalk, A. (2007): *Optimiertes Ausdauertraining*. 5. Aufl. Meyer & Meyer, Aachen.
- Olivier, N.; Marschall, F.; Büsch, D. (2008). *Grundlagen der Trainingswissenschaft und –lehre*. Hofmann-Verlag, Schorndorf
- Penka, G.; Pylypiw, T. (2009). *Elektromagnetische Stimulation der menschlichen Muskulatur*. Unveröff. Bericht, Institut für Sportwissenschaft und Sport, Universität der Bundeswehr München. München.

- Penka, G.; Pylypiw, T. (2010). *Elektromagnetische Stimulation der menschlichen Muskulatur*. Unveröff. Bericht, Institut für Sportwissenschaft und Sport, Universität der Bundeswehr München. München.
- Polson, M.J.R.; Barker, A.T.; Freeston, I.L. (1982). Stimulation of nerve trunks with time-varying magnetic fields. *Med. Biol. Eng. Comput*, 1982: 20: S. 243-244. Schlumberger, A.; Schmidtbleicher, D. (1998). *Zeitlich verzögerte Effekte beim Krafttraining*. In *Leistungssport* 28: 3. S.33-38.
- Schlumberger, A.; Schmidtbleicher, D. (2000). *Grundlagen der Kraftdiagnostik in Prävention und Rehabilitation*. *Manuelle Medizin* 2000: 38. S. 223-231. Springer-Verlag.
- Schnabel, G.; Harre, D.; Krug, J.; Borde, A. (2003). *Trainingswissenschaft. Leistung, Training, Wettkampf*. 3. Stark überarb. Auflage. Sportverlag Berlin.
- Schönle, C. (Hrsg.) (2004): *Rehabilitation. Praxiswissen Halte- und Bewegungsorgane*. Thieme Verlag.
- Van den Berg, F. (Hrsg.) (2007): *Angewandte Physiologie 3. Therapie, Training, Tests*. 2. Auflage. Thieme Verlag.