

Aus der Medizinischen Universitätsklinik und Poliklinik Tübingen
Abteilung V, Sportmedizin
(Schwerpunkt: Leistungsmedizin, spezielle Prävention, spezielle
Rehabilitation)

**Effekte eines niedrig intensiven Krafttrainings im Vergleich
zu einem Ganzkörper-Vibrationstraining auf verschiedene
Stoffwechselfparameter bei männlichen Typ 2 Diabetikern**

**Inaugural- Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

vorgelegt von

Brähne, Marie Giselle

2020

Dekan: Professor Dr. B. J. Pichler

1. Berichterstatter: Professor Dr. H.-C. Heitkamp
2. Berichterstatter: Professor Dr. N. Stefan

Tag der Disputation: 10.07.2020

Meiner Familie

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Gesundheitsberichterstattung	2
Tab. 2:	Inzidenz des Diabetes mellitus Typ 2 in Abhängigkeit der körperlichen Betätigung am Beispiel verschiedener Studien.	5
Tab. 3:	Auswirkung körperlicher Betätigung am Beispiel verschiedener Studien.	8
Tab. 4:	Kontraindikationen für die Studienteilnahme.....	15
Tab. 5:	Technische Daten zum Galileo® Fitness	27
Tab. 6:	Charakteristische Merkmale der Trainingsgruppen.....	42
Tab. 7:	Veränderung des Gesamtcholesterins (mg/dl) bei Ein- und Ausgangstest.....	44
Tab. 8:	Gesamtcholesterin im Vergleich der Gruppen	46
Tab. 9:	Veränderung des HDL (mg/dl) bei Ein- und Ausgangstest	48
Tab. 10:	HDL im Vergleich der Gruppen	50
Tab. 11:	Veränderung des LDL (mg/dl) bei Ein- und Ausgangstest	52
Tab. 12:	LDL im Vergleich der Gruppen.....	54
Tab. 13:	Veränderung der Triglyceride (mg/dl) zwischen Eingangstest (ET) und Ausgangstest (AT) innerhalb der jeweiligen Trainingsgruppen.	55
Tab. 14:	Triglyceride im Vergleich der Gruppen.....	58
Tab. 15:	Veränderung des Nüchternblutzuckers (mg/dl) zwischen Eingangstest (ET) und Ausgangstest (AT) innerhalb der jeweiligen Trainingsgruppen	59
Tab. 16:	Nüchternblutzucker im Vergleich der Gruppen	62
Tab. 17:	Veränderung des HbA1c bei Ein- und Ausgangstest.....	64
Tab. 18:	HbA1c im Vergleich der Gruppen.....	66
Tab. 19:	Veränderung der Glucose AUC bei Ein- und Ausgangstest.....	71
Tab. 20:	Glucose AUC im Vergleich der Gruppen.....	73
Tab. 21:	Veränderung der LWS/BWS Flexion (Nm) bei Ein- und Ausgangstest	75
Tab. 22:	LWS/BWS Flexion im Vergleich der Gruppen.....	77
Tab. 23:	Veränderung der LWS/BWS Extension (Nm) bei Ein- und Ausgangstest.....	79
Tab. 24:	LWS/BWS Extension im Vergleich der Gruppen.....	81
Tab. 25:	Veränderung der Schulterstabilisatoren (Nm) bei Ein- und Ausgangstest.....	83
Tab. 26:	Schulterstabilisatoren im Vergleich der Gruppen	85
Tab. 27:	Veränderung der Knieextension (Nm) bei Ein- und Ausgangstest... ..	87
Tab. 28:	Knieextension im Vergleich der Gruppen.....	89
Tab. 29:	Veränderung der Knieflexion (Nm) bei Ein- und Ausgangstest.....	91
Tab. 30:	Knieflexion im Vergleich der Gruppen.....	93
Tab. 31:	Blutzuckermessungen in der Vibrations-Trainingsgruppe während der Trainingszeit.....	132
Tab. 32:	Blutzuckermessungen in der Kraft-Trainingsgruppe während der Trainingszeit.....	133
Tab. 33:	Probandendatentabelle	134

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	DAVID-Testgeräte.....	22
Abb. 2:	Studienablauf	25
Abb. 3:	Galileo® Fitness	26
Abb. 4:	Vibrationstraining Übungen 1-7	29
Abb. 5:	Krafttraining Trainingsgeräte	35
Abb. 6:	Gesamtcholesterin	43
Abb. 7:	Gesamtcholesterin	45
Abb. 8:	HDL	47
Abb. 9:	HDL	49
Abb. 10:	LDL.....	51
Abb. 11:	LDL.....	53
Abb. 12:	Triglyceride.....	56
Abb. 13:	Triglyceride.....	57
Abb. 14:	Nüchternblutzucker	60
Abb. 15:	Nüchternblutzucker	61
Abb. 16:	HbA1c.....	63
Abb. 17:	HbA1c.....	65
Abb. 18:	Blutzucker.....	67
Abb. 19:	Blutzucker.....	68
Abb. 20:	Blutzucker.....	69
Abb. 21:	Glucose-AUC	70
Abb. 22:	Glucose-AUC	72
Abb. 23:	LWS/BWS Flexion.....	74
Abb. 24:	LWS/BWS Flexion.....	76
Abb. 25:	LWS/BWS Extension.....	78
Abb. 26:	LWS/BWS Extension.....	80
Abb. 27:	Schulterstabilisatoren	82
Abb. 28:	Schulterstabilisatoren	84
Abb. 29:	Knieextension.....	86
Abb. 30:	Knieextension.....	88
Abb. 31:	Knieflexion.....	90
Abb. 32:	Knieflexion.....	92
Abb. 33:	Anteilige Änderungen der HbA1c-Werte nach Trainingsmethoden	104
Abb. 34:	Flyer für die Probandensuche	127
Abb. 35:	Borg Skala.....	128
Abb. 36:	Anleitung Borg Skala für Probanden.....	129
Abb. 37:	Kontrollbogen Vibrations-Training.....	130
Abb. 38:	Kontrollbogen Kraft-Training	131

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Fragestellung und Hypothesen	11
3	Material und Methoden	13
3.1	Studiendesign	13
3.2	Probanden.....	13
3.3	Ein- und Ausgangsuntersuchung	16
3.3.1	Anamnese und körperliche Untersuchung	16
3.3.2	Belastungs-EKG	17
3.3.3	Bestimmung der Stoffwechselfparameter.....	17
3.3.4	Anthropometrie	20
3.3.5	Bestimmung der Maximalkraft	20
3.4	Trainingsmethoden	25
3.4.1	Vibrations-Training	26
3.4.2	Sanftes Krafttraining.....	34
3.4.3	Statistische Analyse der Daten.....	39
4	Ergebnisse	41
4.1	Lipidstoffwechsel.....	42
4.1.1	Gesamtcholesterin.....	42
4.1.2	HDL	46
4.1.3	LDL	50
4.1.4	Triglyceride	54
4.2	Kohlenhydratstoffwechsel	58
4.2.1	Nüchterblutzucker.....	58
4.2.2	HbA1c.....	62
4.2.3	OGTT.....	66
4.3	Maximalkraft.....	73
4.3.1	LWS/BWS Flexion	73
4.3.2	LWS/BWS Extension.....	77
4.3.3	Schulterstabilisatoren	81
4.3.4	Knieextension	86
4.3.5	Knieflexion	90
5	Diskussion	94
5.1	Methodenkritik.....	95
5.2	Fettstoffwechsel	98
5.3	Kohlehydratstoffwechsel	101
5.4	Maximalkraft.....	105
5.5	Effektivität der Trainingsmethoden.....	107

Inhaltsverzeichnis

5.6	Ausblick.....	109
6	Zusammenfassung.....	112
7	Literatur.....	114
8	Anhang.....	126
9	Erklärung.....	138
10	Danksagung.....	139
11	Lebenslauf.....	140

1 Einleitung

Gesundheit und Krankheit stehen in engem Zusammenhang mit dem Wandel der Gesellschaft. Während die Struktur des menschlichen Organismus im Laufe der Evolution relativ konstant geblieben ist, haben sich die Umweltbedingungen, denen der menschliche Körper ausgesetzt ist, verändert. Im Zuge dieser Veränderungen haben medizinische Fortschritte und die Verbesserung hygienischer Bedingungen zu einem Panoramawandel der Krankheiten beigetragen: Anstelle akuter Infektionskrankheiten sind chronisch degenerative Erkrankungen in den Vordergrund getreten (Siegrist, 2004), (RKI, 2004).

Heute wird das Krankheits- und Sterbegeschehen vorwiegend von chronischen Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems dominiert. Laut dem Statistischen Bundesamt verstarben im Jahr 2015 38,5 % der Bevölkerung an einer Erkrankung des Herz-Kreislauf-Systems (Statistisches Bundesamt, 2017). Neben Krebserkrankungen zählen sie demnach zu den häufigsten Todesursachen in der Bundesrepublik Deutschland (BRD) und in anderen westlichen Industrienationen. Dabei nimmt der Diabetes mellitus Typ 2 als beeinflussbarer Risikofaktor für Herz-Kreislauf-Erkrankungen einen besonderen Stellenwert ein. Icks et al. (2005) veröffentlichten für die Gesundheitsberichterstattung des Bundes folgende modifizierte Tabelle (Tab. 1) der Deutschen Diabetes Gesellschaft (DDG, 2004) zum Risiko für ausgewählte Erkrankungen für Diabetesbetroffene im Vergleich zu Nicht-Betroffenen. Als eigenständiger Risikofaktor führt die Hyperglykämie demnach sowohl zu der Schädigung der großen als auch der kleinen Gefäße und trägt demnach mit der Gefahr für die Entstehung lebensbedrohlicher Erkrankungen erheblich zur Verminderung der Lebensqualität und zur Verkürzung der Lebensdauer bei.

Tab. 1: Gesundheitsberichterstattung

Relatives Risiko (RR, Risikoerhöhung) für ausgewählte Spätschäden und Begleiterkrankungen bei Diabetesbetroffenen im Vergleich zu Nicht-Diabetesbetroffenen bzw. zur Bevölkerung (Icks et al., 2005).

Komplikation	Risikoerhöhung
Herzinfarkt	Männer: 3,7
	Frauen: 5,9
Tod durch Herz-Kreislauf-Erkrankung	Diagnose vor dem 30. Lebensjahr: 9,1
	Diagnose nach dem 30. Lebensjahr: 2,3
Apoplex	2 bis 4
Erblindung	5,2
Terminale Niereninsuffizienz	12,7
Amputation unterer Extremitäten	22,2

Wild et al. (2004) berichteten über die rasante Ausbreitung des Diabetes mellitus. Sie vermuten, dass sich die Rate weltweit von 171 Millionen im Jahr 2000 auf 366 Millionen Betroffene im Jahr 2030 mehr als verdoppeln wird. Nach Berichten der International Diabetes Federation (IDF) waren bereits 2013 schon 382 Millionen Menschen an einem Diabetes erkrankt. Dabei nimmt der Diabetes mellitus Typ 2 mit mindestens 90 % den mengenmäßig größten Anteil der Diabetes-Erkrankungen ein. Ursächlich für die hohe Erkrankungsrate sind nach Angaben der IDF: Anstieg der Lebenserwartung, ungesunde Ernährung, Übergewicht und Bewegungsarmut. Wing et al. (2001) zeigten in ihrer Forschungsarbeit, dass dabei die körperliche Inaktivität und das Übergewicht den größten Stellenwert innerhalb der genannten Faktoren einnehmen.

Obwohl körperliche Aktivität erwiesenermaßen eine präventive Wirkung auf verschiedene Erkrankungen darstellt, bewegt sich die Mehrzahl der Bevölkerung zu wenig (Mensink, 2003). So bestätigt das Robert-Koch-Institut

(RKI), dass 2007 lediglich 13% der deutschen Bevölkerung das empfohlene Aktivitätsniveau erreichen, 30 % der Erwachsenen sind körperlich wenig aktiv und 45% treiben gar keinen Sport (RKI, 2007). In der Vergangenheit konnten bereits zahlreiche Studien einen positiven Zusammenhang zwischen körperlicher Betätigung und der Entstehung eines Diabetes mellitus Typ 2 nachweisen. Tabelle 2 stellt einen Auszug aus den Studien dar, die sich in präventiver Hinsicht mit der Diabetesentstehung beschäftigt haben. Während ihrer prospektiven Studie (Nurses` Health Study) von 1980 bis 1988, konnten Manson et al. (1991) bereits beobachten, dass 87253 Frauen im Alter von 34 bis 59 Jahren, die zu Beginn der Studie nicht erkrankt waren und einmal pro Woche körperlich trainierten ein um 33% niedrigeres Risiko für die Entstehung des Altersdiabetes Typ 2 hatten. In einer Folgestudie von 1986 bis 1994, konnte das sinkende Langzeitrisiko für einen Diabetes mellitus Typ 2 dann auch im Zusammenhang mit körperlichen Freizeitaktivitäten gezeigt werden. Mit zunehmender Häufigkeit der Freizeitaktivität sank das Risiko für die Krankheitsentstehung (Hu et al., 1999).

Manson et al. (1992) konnten mit der Physicians` Health Study ähnliche Ergebnisse für männliche Probanden ermitteln. Auch hier wurde zunächst gezeigt, dass ein einmaliges moderates Training pro Woche ein sinkendes Langzeitrisiko für Diabetes bedeutet. In einem Follow-up der Studie, wurde ebenfalls ein Zusammenhang zwischen abnehmendem Erkrankungsrisiko mit zunehmenden Aktivitäten in der Freizeit (u.a. Walking) nachgewiesen (Hu et al., 2001). Eine Studie in Malta ermittelte ein 3,7-fach erhöhtes Risiko für Probanden, die in der Freizeit und während der Arbeit allgemein wenig körperlich gefordert waren (Schranz et al., 1991). Mit einem Vergleich der Parameter: Alter, Body Mass Index (BMI), systolischer Blutdruck, High Density Lipoprotein (HDL), Rauchen, Alkoholkonsum sowie einer vorliegenden koronaren Herzkrankheit, fanden Perry et al. (1995) heraus, dass Männer mit moderatem körperlichen Training innerhalb der Studiendauer von 12,8 Jahren ein erheblich geringeres Risiko für die Entwicklung eines Diabetes mellitus Typ 2 aufwiesen als inaktive Probanden. In einer finnischen Studie mit 891 männlichen und 973 weiblichen Probanden, konnten Haapanen et al. (1997)

ebenfalls den Unterschied zwischen geringem und intensivem körperlichen Training zeigen. Bei den weiblichen Studienteilnehmerinnen konnte ein geringeres Diabetes mellitus Typ 2-Risiko nachgewiesen werden, wenn sie schwer körperlich trainierten. Dabei wiesen Frauen mit der geringsten im Vergleich zu Frauen mit der höchsten körperlichen Belastung ein 2,6-fach erhöhtes Lebenszeitrisiko für die Erkrankung auf.

Mit postmenopausalen Frauen ohne Diabetes mellitus Typ 2 zu Beginn der Studie, beschäftigten sich Folsom et al. (2000). Innerhalb von 12 Jahren ergaben sich 1997 neu aufgetretene Fälle des Diabetes mellitus Typ 2, vorwiegend erneut bei Probandinnen, die sich wenig bzw. gar nicht körperlich betätigten. Auch die Pima Indians Community Study (Kriska et al., 2003) und die Göteborg BEDA Study (Dotevall et al., 2004) zeigten eine signifikante Senkung des Entstehungsrisikos für einen Diabetes mellitus Typ 2 bei Probanden und Probandinnen, die sich in ihrer Freizeit einmal pro Woche körperlich betätigten. Mit der Entwicklung eines manifesten Diabetes mellitus Typ 2 im Anschluss an eine Intervention beschäftigten sich Lindström et al. (2006) mit einem Follow-up ihrer Finnish Prevention Diabetes Study. Hierbei wurden übergewichtige Frauen und Männer mittleren Alters, unterteilt in eine Kontrollgruppe (einmalige Beratung zum Lebensstil in Schriftform) und eine Interventionsgruppe (individuelle Beratung, 7-mal im ersten Jahr, dann 3-monatlich, mit den Zielen einer ausgewogenen Ernährung, einer Gewichtsreduktion und vermehrter körperlicher Aktivität) insgesamt 7 Jahre beobachtet (4 Jahre Intervention, 3 Jahre Beobachtung nach Beendigung der Intervention). Dabei konnte nicht nur während der Intervention, sondern auch in den Jahren danach ein signifikant niedrigeres Risiko für die Entstehung des Diabetes mellitus Typ 2 bei Probanden der Interventionsgruppe im Vergleich zu den Teilnehmern der Kontrollgruppe ermittelt werden (Inzidenz gesamt Kontrollgruppe: 110, Interventionsgruppe: 75, Inzidenz dabei nach Intervention, im Beobachtungszeitraum Kontrollgruppe: 38, Interventionsgruppe: 31).

Einleitung

Tab. 2: Inzidenz des Diabetes mellitus Typ 2 in Abhängigkeit der körperlichen Betätigung am Beispiel verschiedener Studien.

Studie	Anzahl der Probanden	Alter (Jahre)	Dauer der Studie (Jahre)	Körperliche Betätigung	Inzidenz
Nurses`Health Study (Manson et al., 1991)	87253 W	34-59	8	Hohe körperliche Freizeitbelastung 1x/Woche vs. weniger als 1x/Woche	1303
Population Sample of Maltase (Schranz et al., 1991)	196 M, F	>20	2	Geringe körperliche Belastung (Arbeit, Freizeit) vs. körperliches Training	37
Physicians` Health Study (Manson et al., 1992)	21271 M	40-84	5	Körperliches Training 1x/Woche vs. weniger als 1x/Woche	285
British regional Heart Study (Perry et al., 1995)	7735 M	40-59	12,8	Geringe vs. keine körperliche Betätigung	194
Population Sample from Northeastern Finland (Haapanen et al., 1997)	891 M 973 F	35-63	10	Niedrige vs. hohe körperliche Belastung: M: 0-1100 kcal vs. >1900 kcal/Woche F: 0-900 kcal vs. >1500 kcal/Woche	118
Iowa Women` Health Study (Folsom et al., 2000)	34257 F	55-69	12	Körperliche Freizeitaktivität vs. keine Aktivität	1997
Pima Indians Community Study (Kriska et al., 2003)	676 M 1052 W	15-59	6	Hohe (≥ 16 MET-Stunden/Woche) vs. geringe körperliche Freizeitaktivität (<16 MET-Stunden/Woche)	346
Göteborg BEDA Study (Dotevall et al., 2004)	1351 F	39-65	18	Sitzende vs. jede Art von körperlicher Freizeitaktivität	73
Follow-up of the Finnish Prevention Diabetes Study (Lindström et al., 2006)	172 M 350 F	40-64	7	Einmalige Beratung zur Lebensstiländerung (Ernährung und körperliche Aktivität) vs. Interventionsprogramm (individuelle Diät- und Bewegungsberatung sowie Trainingssitzungen ≥ 30 min/Tag)	185

Nicht nur in der Prävention, auch für Patienten mit manifestem Diabetes mellitus Typ 2 werden Lebensstiländerungen empfohlen. Hier konnten bereits einige Autoren positive Auswirkungen körperlicher Aktivität auf den

Krankheitsverlauf bestätigen (s. Tab. 3). Kennedy et al. (1999) beschrieben eine verbesserte Glucose-Aufnahme in die Skelettmuskulatur unter körperlichem Training. Fünf Diabetiker und fünf Probanden ohne Diabetes, unterzogen sich dabei im Abstand von 3-6 Wochen zwei Biopsien aus dem M. rectus lateralis. Während die erste Biopsie an einem Oberschenkel ohne vorherige Belastung stattfand, wurde die zweite Entnahme nach einer 3-6-wöchigen Pause im Anschluss an eine Belastung (45-60 Minuten bei 60-70% VO₂max) auf der Gegenseite durchgeführt. Es zeigte sich ein deutlich erhöhter Einbau von GLUT4 in die Plasmamembran nach Belastung. Brooks et al. (Brooks et al., 2006) untersuchten den Einfluss eines Krafttrainings auf die Muskulatur und den Stoffwechsel von insgesamt 62 Spaniern mit einem Diabetes mellitus Typ 2. Dabei zeigte sich in der Interventions- im Vergleich zur Kontrollgruppe eine Verbesserung der Muskelqualität mit einer Erhöhung des Muskelfaserquerschnitts sowie die Veränderung metabolischer Einflussgrößen mit erhöhter Insulinsensitivität als Auswirkung des körperlichen Trainings.

Mit dem Einfluss körperlicher Betätigung auf den Stoffwechsel von Typ-2-Diabetikern beschäftigten sich ebenfalls zwei große Meta-Analysen. Eine dieser Analysen, mit 12 prospektiven, kontrollierten Studien zeigt, dass regelmäßiges Training (3- bis 4mal pro Woche, durchschnittlich 53 Minuten) im aeroben Bereich, über mindestens acht Wochen beibehalten, dass HbA_{1c} um durchschnittlich 0,66% senkt, auch ohne deutliche Gewichtsreduktion (Boulé et al., 2001). Ähnliche Ergebnisse erzielten Snowling und Hopkins (2006) in ihrer Metaanalyse mit 27 qualifizierten Studien. Während Boulé et al. dabei vorzugsweise die Auswirkung eines moderaten Ausdauertrainings in Form von Walking oder Radfahren auf den Glucosestoffwechsel bei Typ 2 Diabetikern untersuchten, verglichen Snowling und Hopkins die Effekte eines Ausdauer- gegenüber eines Kraft- bzw. eines kombinierten Trainings. Auch hier zeigten sich in allen Gruppen zumindest geringe Verbesserungen des HbA_{1c}. Insgesamt war jedoch das kombinierte Training am wirksamsten.

Während beide Meta-Analysen den positiven Effekt körperlicher Betätigung auf den Stoffwechsel von Typ 2 Diabetikern bestätigen konnten, zeigte die Look

Ahead Research Group et al. (2013) mit ihrer Look AHEAD Studie keinen Nutzen für die Verhinderung kardiovaskulärer Ereignisse bei Typ 2 Diabetikern. Dabei wurden an 16 Studienorten seit 2001 über 5000 übergewichtige oder adipöse Typ 2 Diabetiker begleitet. Die Einteilung der Probanden erfolgte in eine Interventions- oder eine Kontrollgruppe. Während in der Interventionsgruppe die Gewichtsreduktion durch intensive Lebensstiländerung mit Hilfe von Kalorienreduzierung und körperlicher Aktivität im Vordergrund stand, erhielten Probanden der Kontrollgruppe lediglich eine Standardbehandlung ihres Diabetes sowie dreimal jährlich Schulungen als beratende Maßnahme. Ziel der Studie war hauptsächlich einen zusammengesetzten Endpunkt aus kardiovaskulärer Mortalität, nichttödlichem Myokardinfarkt, nichttödlichem Schlaganfall oder der Hospitalisierung wegen Angina pectoris im Verlauf von insgesamt 13,5 Jahren zu ermitteln. Da sich zwar im Sinne der Gewichtsreduktion, der Verringerung des Taillenumfanges und der Veränderung des HbA1c sowie in der körperlichen Fitness bessere Ergebnisse in der Interventions- als in der Kontrollgruppe zeigten, hinsichtlich des kardiovaskulären Endpunktes jedoch keine Unterschiede festzustellen waren, wurde die Studie nicht wie geplant nach 13,5 Jahren, sondern bereits nach 9,6 Jahren vorzeitig beendet.

Tab. 3: Auswirkung körperlicher Betätigung am Beispiel verschiedener Studien.

Studie	Anzahl der Probanden	Alter (Jahre)	Dauer der Intervention (Wochen)	Intervention	Ergebnis
(Kennedy et al., 1999)	10	≥ 30	2 Interventionen im Abstand von 3-6 Wochen	Diabetiker vs. Nicht-Diabetiker Farradergometrie vs. keine Belastung	GLUT 4-Anstieg nach Belastung
(Brooks et al., 2006)	62	> 55	16	Krafttraining vs. kein Krafttraining	Verbesserte Muskelqualität und erhöhte Insulinsensitivität
Meta-analysis (Boulé et al., 2001)	504	55 ± 7	≥ 8	Moderates Ausdauertraining (Walking, Radfahren) vs. kein Training	Signifikante Senkung des HbA1c
Meta-analysis (Snowling et al., 2006)	1003	55 ± 7	5-104	Ausdauertraining vs. Krafttraining vs. kombiniertes Training	Signifikante Senkung des HbA1c
Look AHEAD Studie	5145	45 - 75		175 min/Woche Sport Kombiniert mit: • Diätstrategien • Gewichts-reduzierenden Medikamenten	mittlere Gewichtsreduktion von 6 bis 8 kg, Reduktion des Taillenumfangs, Verbesserung der körperlichen Fitness

Während in den genannten Studien intensive Trainingsmethoden zur Anwendung kamen, untersuchte Müller in seiner sportwissenschaftlichen Diplomarbeit 2008 den Einfluss eines sanften Kraft-Trainings auf die Stoffwechselfparameter HbA1c, Blutfettwerte (Konzentration von Gesamtcholesterin, HDL, LDL und Triglyceriden, sowie das Verhältnis von LDL zu HDL), Körpergewicht, Körperumfänge sowie Körperfettgehalt und Körperfettverteilung mit Hilfe einer Hautfaltenmessung bei Diabetes mellitus Typ 2 erkrankten Männern. Seine Methode, das sanfte Kraft-Training sollte ein „an den geschwächten Organismus angepasstes Kraft-Training“ darstellen. Dabei handelt es sich definitionsgemäß um ein Kraft-Training, bei dem die Wiederholungen innerhalb einer Serie nicht zur vollständigen Erschöpfung der

trainierten Muskelgruppe führen (Buskies, 2001). Im Anschluss an das 12-wöchige sanfte Kraft-Training konnte Müller (2008) folgende signifikante Veränderungen in der Interventionsgruppe aufzeigen: Verbesserung des HbA1c-Wertes und der HDL-Konzentration, eine deutlich erhöhte Kraftentwicklung, eine Abnahme des Bauch- und Oberschenkelumfangs sowie eine Reduzierung der Fettdicke (Oberarm, Schulterblatt, Bauch).

Obgleich erwiesen ist, dass Kraft-Training eine Verbesserung auf Stoffwechselformparameter von Diabetes mellitus Typ 2 erkrankten Personen bewirkt, nutzen immer noch viel zu wenig Betroffene diese Maßnahme zur Verbesserung ihrer Stoffwechsellage. Eine alternative Methode stellt das Vibrations-Training dar. Hierbei lassen sich im Gegensatz zum Kraft-Training bereits mit weniger und vor allem sehr kurz andauernden Trainingseinheiten positive Effekte auf den Muskelzuwachs und den hormonellen Stoffwechsel erzielen. Während Bosco et al. (2000) und Issurin et al. (1999) die genannten Effekte in Untersuchungen mit gesunden Probanden aufzeigen konnten, berichteten auch mehrere Autoren über positive Effekte des Vibrations-Trainings auf verschiedene Erkrankungen. Dabei wurden vorwiegend die Auswirkungen auf Erkrankungen des Skelettsystems untersucht. Insbesondere für Muskelatrophien und Osteoporose konnten positive Ergebnisse erzielt werden (Rittweger et al., 2002) (Roelants et al., 2004) (Torvinen et al., 2002).

Im Zusammenhang mit dem Diabetes mellitus Typ 2 untersuchten Baum et al. (2007) die Auswirkungen eines Vibrations-Trainings im Vergleich zu einem Kraft-Training und einem Flexibilitäts-Training auf glykämische Parameter. Im Einzelnen wurden die Effekte der unterschiedlichen Trainingsformen auf Nüchtern-Blutzucker, Glucosetoleranz, HbA1c, auf das isometrische, maximale Drehmoment des M. quadriceps femoris und auf die Ausdauerleistung ermittelt. Nach einem 12-wöchigen Training konnten bei den Probanden folgende Ergebnisse erzielt werden: Die Werte der Nüchterglucose blieben unverändert. Dahingegen verbesserte sich die Glucosetoleranz in der Vibrations- und in der Kraft-Trainings-Gruppe. Bei Probanden, die das Vibrations-Training durchgeführt haben, konnte weiterhin eine signifikante Verbesserung des HbA1c aufgezeigt

werden, während er in den beiden anderen Interventionsgruppen anstieg. Aus den Ergebnissen schließen die Autoren, dass das Vibrations-Training positive Effekte auf Stoffwechselfparameter bei Erkrankten mit Diabetes mellitus Typ 2 erzielen kann.

2 Fragestellung und Hypothesen

Während in der Therapie des Diabetes mellitus Typ 2 bisher die Ernährungsumstellung und die Reduktion des Körpergewichts im Vordergrund standen, konnte in der Einleitung anhand verschiedener Studien gezeigt werden, dass körperliches Training als sinnvolle Maßnahme zur Veränderung verschiedener Stoffwechselfparameter anzusehen ist. Trotz der nachgewiesenen positiven Effekte verschiedener Trainingsformen, wendet nur ein geringer Anteil der Erkrankten die Bewegung als therapeutisches Mittel an. Als Grund dafür kommen unter anderem der Zeitaufwand und die Intensität der körperlichen Beanspruchung in Betracht. Sowohl das sanfte Kraft-Training als auch das Vibrations-Training stellen im Gegensatz zum üblichen Kraft- und Ausdauer-Training Methoden dar, die trotz ihrer geringeren Intensität eine Verbesserung verschiedener Stoffwechselfparameter erzielen. Hinzu kommt, dass das Vibrationstraining mit seinen relativ kurzen Trainingseinheiten eine zusätzlich motivierende Alternative darstellt.

So werden in der vorliegenden Dissertation die Auswirkungen eines sanften Kraft- im Vergleich zu einem Vibrations-Training auf verschiedene Stoffwechselfparameter sowie die Effekte auf die Maximalkraft untersucht. Im Einzelnen ergeben sich dabei folgende zentrale Fragestellungen:

Welchen Einfluss hat ein 12-wöchiges sanftes Kraft-Training auf den Kohlenhydrat- (Nüchterblutzucker, Oraler Glucose-Toleranztest (OGTT) und HbA1c) sowie den Lipidstoffwechsel (Gesamtcholesterin, High Density Lipoprotein (HDL), Low Density Lipoprotein (LDL), Triglyceride)?

Welchen Einfluss hat ein 12-wöchiges Vibrations-Training auf den Kohlenhydrat- (Nüchterblutzucker, Oraler Glucose-Toleranztest (OGTT) und HbA1c) sowie den Lipidstoffwechsel (Gesamtcholesterin, High Density Lipoprotein (HDL), Low Density Lipoprotein (LDL), Triglyceride)?

Welchen Einfluss hat ein 12-wöchiges sanftes Kraft- bzw. Vibrations-Training auf die Maximalkraft (Bauch-, Rücken- und Brustmuskulatur

sowie Muskeln der Oberschenkelvorder- und der Oberschenkelrückseite)?

Zur Feststellung signifikanter Veränderungen im Stoffwechsel der Typ 2-Diabetiker dient außerdem der Vergleich mit Typ 2-Diabetikern der Kontrollgruppe.

Für die vorliegende Arbeit ergibt sich mit den genannten Fragestellungen somit folgende Hypothese:

Männliche Probanden mit nachgewiesenem Diabetes mellitus Typ 2, die sich einem 12-wöchigen körperlichen Training unterziehen (sanftes Kraft-Training oder Vibrations-Training) weisen im Vergleich zu den Typ 2-Diabetikern der Kontrollgruppe verbesserte Stoffwechselfparameter im Kohlenhydrat- und Lipidstoffwechsel sowie eine erhöhte maximale Kraft auf.

Dazu wurde eine Studie mit 25 männlichen Typ 2-Diabetikern durchgeführt. Die Methoden der Studie werden im Folgenden detailliert erläutert.

3 Material und Methoden

3.1 Studiendesign

Bei der vorliegenden Pilotstudie handelt es sich um eine Längsschnittstudie an insgesamt 25 Typ 2-Diabetikern, die über einen Zeitraum von 12 Wochen an unterschiedlichen Trainingsmethoden teilnahmen. Eine Längsschnittstudie mit gleichem Studiendesign und 24 weiblichen Diabetikerinnen fand zeitgleich unter der Leitung von J. Laukenmann statt. Somit konnten die Probandinnen und Probanden teilweise gemeinsam trainiert und im Wechsel durch eine der beiden Studienleiterinnen beaufsichtigt werden (im Folgenden als Studienleiterin oder Übungsleiterin bezeichnet). Alle Probanden wurden vor Studienbeginn mündlich und schriftlich über Ziele, Nutzen, Dauer und Aufbau sowie über mögliche Risiken der Studie aufgeklärt und gaben ihr schriftliches Einverständnis. Die Teilnahme an der Studie war freiwillig und konnte jederzeit ohne Angabe einer Begründung beendet werden. Eine schriftliche Einwilligung war außerdem Voraussetzung für die Teilnahme. Die Einteilung erfolgte nach Absprache, insbesondere aber auch im Hinblick auf die angebotenen Trainingstermine und somit ohne Randomisierung.

3.2 Probanden

Insgesamt wurden 25 Probanden mit Typ 2-Diabetes, im Alter zwischen 46 und 72 Jahren rekrutiert. Diese wurden in drei Gruppen (Vibrations-Trainingsgruppe N=7, Kraft-Trainingsgruppe N=9, Kontrollgruppe N=8) aufgeteilt. Die Daten eines Probanden konnten nicht für die Analysen herangezogen werden. Der Proband aus der Vibrations-Trainingsgruppe (M2) brach das Training ab und erreichte nur eine Trainingsanwesenheit von 50%, wodurch die geforderte Trainingscompliance von 75% nicht erreicht wurde. Somit liegen dieser Arbeit die Daten von 24 Diabetikern zu Grunde.

Für die Studie wurden Männer mit Diabetes mellitus Typ 2 gesucht. Dies geschah mit Hilfe von Inseraten, ausgelegten Flyern (Anhang, Abb. 34) sowie Studienpräsentationen an verschiedenen Orten. An einer Teilnahme

interessierte Diabetiker wurden an einem Informationsabend in die Studie und deren geplanten Ablauf eingeführt.

Bedingung für die Teilnahme an der Studie waren ein männliches Geschlecht, ein diagnostizierter Diabetes mellitus Typ 2 sowie zum Zeitpunkt der Eingangsuntersuchung ein Alter zwischen 46 und 72 Jahren. Voraussetzung für eine Studienteilnahme war darüber hinaus die Beibehaltung der üblichen Lebensgewohnheiten betreffend Ernährung und Sport während der Studienzeit.

Um das Gesundheitsrisiko durch Maximalkraftmessungen, Kraft- und Vibrationstraining zu minimieren, wurden die Probanden bei der Aufnahmeuntersuchung über die Kontraindikationen für die Studienteilnahme aufgeklärt. Kriterien, die zum Studienausschluss führten und das Vibrationstraining, das sanfte Krafttraining sowie die Maximalkraftmessungen betrafen werden im Folgenden erläutert (s. Tab. 4).

Tab. 4: Kontraindikationen für die Studienteilnahme

Kontraindikationen

Zustand nach frischer Operation (bis 4 Monate postoperativ)

Frische Frakturen, Wunden und Narben oder Tendinopathien in den trainierten Körperregionen

Implantate in den trainierten Körperregionen

Entzündungen des Bewegungsapparates, akute Diskopathien oder Arthrosen, Rheumatoide Arthritis

Osteoporose und schwerste Osteoporose nach WHO Definition

Schwere Herz- und Kreislauferkrankungen: Herzinsuffizienz NYHA II-IV; belastungsstabile KHK

Ausgeprägte diabetische Retinopathie, Netzhautablösungen

Ausgeprägte Neuropathie des autonomen und peripheren Nervensystems

Steinleiden von Gallenwegen und ableitenden Harnwegen

Akute Thrombosen

Akute Hernien

Akute Migräneanfälle

Epilepsie

Diabetisches Fußsyndrom vom neuropathischen Typ mit Ulzera oder ohne adäquate Schuhversorgung

Blutzuckerentgleisungen von >250 mg/dl nüchtern zu Beginn der Untersuchung

Blutdruckentgleisung (vor Beginn > 160/100 mmHg)

Respiratorische Insuffizienz (Dyspnoe bei leichter Belastung)

Um die Ergebnisse der Studie auf das Training zurückführen zu können, mussten die Probanden an mindestens 75% der angebotenen Trainingseinheiten teilnehmen.

3.3 Ein- und Ausgangsuntersuchung

Für Probanden der Vibration- und Kraft-Trainingsgruppe begann die Studie im September mit den Eingangsuntersuchungen und endete nach zwölfwöchigem Training im Dezember mit den Ausgangsuntersuchungen. Die Kontrollgruppe wurde im November desselben Jahres zu den Eingangsmessungen einbestellt und beendete die Studie im Februar des darauffolgenden Jahres mit den Ausgangsmessungen. Die Ein- und Ausgangsuntersuchungen folgten jeweils einem bestimmten Schema. Um Komplikationen bei den Messungen und beim Training vorzubeugen, wurden in der Ambulanz der Sportmedizin Tübingen zunächst ein Anamnesegespräch, eine körperliche Untersuchung und ein Belastungs-EKG durchgeführt. Zu den Tests der Ein- und Ausgangsuntersuchung wurden Stoffwechselfparameter und anthropometrische Daten erhoben sowie die maximale Kraft geprüft. Für die Untersuchung der Stoffwechselfparameter sollten die Probanden an einem Termin nüchtern erscheinen. Es wurden HbA1c, Lipidprofil (Cholesterin: Gesamt/HDL/LDL; Triglyceride), Nüchternblutglucose sowie im Rahmen eines Oralen Glucosetoleranztests (OGTT) die Glucosetoleranz bestimmt. An einem weiteren Termin wurden Körpergröße und –gewicht, der Bauchumfang sowie jeweils die Maximalkraftwerte (One Repetition Maximum) ermittelt. Zur Verfahrens- und Genauigkeitsoptimierung wurden vor Beginn der Studie an fünf Freiwilligen, die nicht dem Probandenkollektiv angehörten, die Durchführung der verschiedenen Tests und Messungen geübt. Die folgenden Ausführungen beschreiben den genauen Ablauf dieser Untersuchungen und die dafür notwendigen Gerätschaften.

3.3.1 Anamnese und körperliche Untersuchung

Zu Beginn der Eingangsuntersuchungen wurde mit den Probanden ein Anamnesegespräch geführt. Inhaltlich wurde hierbei vor allem der Verlauf der Diabetes-Erkrankung hinterfragt. Weitere Angaben machten die Probanden zu Vorerkrankungen und Allergien, Erkrankungen innerhalb der Familie, Alkoholkonsum und Medikamenteneinnahme sowie zur bisherigen sportlichen Aktivität. Die Aufklärung über die Ausschlusskriterien war ebenfalls Bestand des

Anamnesegesprächs. Im Anschluss an die Anamnese wurde die körperliche Untersuchung durchgeführt. Hierbei handelte es sich um eine klinische Routineuntersuchung, um Kontraindikationen auszuschließen. Die Untersuchung beinhaltete neben der Inspektion des Probanden, der Auskultation des Herzens sowie der Auskultation und Perkussion von Lunge und Abdomen auch die Messung von Herzfrequenz und Blutdruck. Am Ende der Intervention wurde im Rahmen der Ausgangsuntersuchung ein abschließendes Gespräch geführt sowie Herzfrequenz und Blutdruck erneut gemessen.

3.3.2 Belastungs-EKG

Zum Ausschluss einer kardiovaskulären Erkrankung folgte im Anschluss an die Anamnese und die körperliche Untersuchung ein Belastungs-EKG. Hierfür wurde zunächst ein Ruhe-EKG geschrieben, erneut der Blutdruck gemessen und der Laktatwert in Ruhe bestimmt. Anschließend starteten die Probanden mit einer Belastung von 25 Watt. Alle drei Minuten wurde von der Studienleiterin erneut eine Laktatmessung durchgeführt, anschließend der Widerstand um 25 Watt erhöht. Ein Abbruch der Untersuchung erfolgte bei subjektiv körperlicher Erschöpfung. EKGs wurden während der Belastung zur vollen Minute geschrieben sowie in der ersten, dritten und fünften Minute nach Belastung. Der Blutdruck wurde bei jeder zweiten Steigerung der Wattzahl kontrolliert sowie eine Minute und fünf Minuten nach Ende der Belastung. Die Auswertung der Belastungs-EKGs erfolgte durch den ärztlichen Studienleiter.

3.3.3 Bestimmung der Stoffwechselfparameter

Bei den Tests zur Bestimmung der verschiedenen Stoffwechselfparameter sollten die Probanden für 10-16 Stunden vor der Messung nüchtern sein, in diesem Zeitraum weder geraucht noch die Antidiabetika eingenommen haben.

Für alle Tests wurde den Probanden Kapillarblut aus dem Ohrläppchen entnommen. Nach Desinfektion, Anstechen mit einer Lanzette und Abwischen des ersten Blutropfens wurde zunächst mit einem Kapillarröhrchen 35µl zur

Bestimmung des Lipidprofils und des Nüchternblutzuckers entnommen. Anschließend wurde zur Bestimmung des HbA1c mit der dafür notwendigen Glaskapillare 1µl Kapillarblut entnommen. Zum Abschluss wurde ein zweistündiger Oraler Glucosetoleranztest durchgeführt.

Lipidstoffwechsel

Zur Bestimmung der Lipidwerte wurde das Gerät „Cholestech LDX“ (Incomat Medizinische Geräte GmbH) verwendet (Cholestech LDX, 2011). Damit konnten Gesamtcholesterin, HDL und LDL sowie Triglyceride ermittelt werden. In der Anwendung erfolgte zunächst die Entnahme einer Cholestech-Testkassette aus dem Kühlschrank. Diese wurde bei Raumtemperatur ca. 10 Minuten erwärmt. Dann wurde ein Kapillarröhrchen innerhalb von 10 Sekunden und ohne Bildung von Luftbläschen vollständig mit 35 µl Kapillarblut aus dem Ohrläppchen gefüllt. Die Kapillarblutprobe wurde umgehend aus dem Kapillarröhrchen in die Probenmulde der Testkassette gegeben. Nach Einlegen der Kassette in das Cholestech-Gerät, konnte nach ungefähr fünf Minuten das Testergebnis auf dem LCD-Bildschirm abgelesen werden.

Das Prinzip des „Cholestech-LDX®“-Systems basiert auf einer Reflexionsphotometrie. Nach Messung der Menge von Farbveränderungen wird diese vom „Cholestech LDX®“ in eine Konzentration umgerechnet. Der LDL-Wert wird dabei nicht direkt gemessen, sondern nach der Friedewald-Formel berechnet. Das „Cholestech-LDX®“-System umfasst dem Hersteller zufolge für das Gesamtcholesterin einen Messbereich von 100-500 mg/dl, für das HDL einen Messbereich von 15-100 mg/dl und für die Triglyceride einen Messbereich von 45-650 mg/dl. Fehlermeldungen nach „N/A“ (Nicht anwendbar) werden angezeigt, wenn der LDL-Wert nicht nach der Friedewald-Formel berechnet werden kann, da der erhaltene Triglycerid-Wert über 400 mg/dl liegt oder der Gesamtcholesterin, HDL- oder Triglycerid-Wert außerhalb des Messbereichs liegt. Zudem kann der HDL-Wert nicht angezeigt werden, wenn der Triglycerid-Wert über 650 mg/dl liegt. Zur Sicherung der Daten wurden die Ergebnisse mit Hilfe des Cholestech-Druckers gedruckt.

Kohlenhydratstoffwechsel

Nüchternblutzucker

Die Bestimmung des Nüchternblutzuckers erfolgte ebenfalls mit Hilfe des Gerätes „Cholestech LDX“ (Incomat Medizinische Geräte GmbH) (Cholestech LDX, 2011). Die Beschreibung kann dem Kapitel 3.3.3 zum Lipidstoffwechsel entnommen werden. Das „Cholestech LDX®“ umfasst für die Nüchternblutglucose einen Messbereich von 50-500 mg/dl.

HbA1c

Das HbA1c wurde mit dem Gerät „DCA 2000+ ®“ (Bayer Vital GmbH&Co.KG, Fernwald) (Bayer HealthCare, 2006) bestimmt. Dabei wird der prozentuale Anteil des glykierten Hämoglobins am Gesamthämoglobin der Blutprobe (HbA1c in % des Gesamthämoglobins) durch die Hemmung eines Latex-Agglutination Immunoassays bestimmt. Eine Kalibrierung des DCA 2000+ wurde vom Hersteller vorgenommen, danach folgt bei jedem Test nach Ablesen des Barcodes von der jeweiligen Reagenzkassette eine Selbstjustierung.

In der Anwendung wurde die Reagenzkassette nach Entnahme aus dem Kühlschrank zunächst für ca. 10 Minuten bei Raumtemperatur erwärmt. Anschließend wurde den Probanden mithilfe des Kapillarhalters 1µl Vollblut am Ohrläppchen entnommen. Die gefüllte Kapillare wurde daraufhin in die jeweilige Reagenzkassette eingeführt. Schließlich konnte die befüllte Kassette in das Analysegerät eingesetzt werden. Das Testergebnis erschien jeweils nach ca. 6 Minuten auf dem Display, wobei die HbA1c-Konzentration in einem Bereich von 2,5-14 % angezeigt werden konnte.

Oraler Glucose Toleranztest

Der Orale Glucosetoleranztest wurde gemäß den Empfehlungen der World Health Organisation (WHO) durchgeführt (National Diabetes Data Group, 1997) (Sacks et al., 2002). Insgesamt nahmen 18 Probanden teil. Insulinpflichtige Probanden wurden aufgrund gesundheitlicher Risiken bei zu erwartenden

schwellenüberschreitenden 2-h-Werten von > 200 mg/dl von der Untersuchung ausgeschlossen. Dafür wurden 75 g Glucose (Dextrose - Dextropur Traubenzucker, Dextro Energy GmbH&Co.KG, Kreefeld) in 300 ml Wasser aufgelöst. Nach Bestimmung der Nüchternblutzuckerwerte sollten die Probanden die Glucoselösung innerhalb von 5 Minuten trinken. Anschließend wurde über einen Zeitraum von 2 Stunden halbstündlich ein Tropfen kapillares Blut am Ohrläppchen entnommen. Während des OGTTs nahmen die Probanden weiterhin keine Nahrung zu sich und verrichteten keine körperliche Arbeit.

Der Blutglucosespiegel wurde mit dem Gerät „ACCU-CHEK®-Aviva“ (Roche Diagnostics GmbH, Mannheim) und den zugehörigen Teststreifen nach 30, 60, 90 und 120 Minuten ermittelt. In der Anwendung erfolgte nach Vorbereitung des „ACCU-CHEK®-Aviva“-Systems die Entnahme von $0,6\mu\text{l}$ Kapillarovollblut am Ohrläppchen mit dem Teststreifen. Technisch wird dann die in der Blutprobe enthaltene Glucose durch das auf dem Teststreifen befindliche Enzym Glucose-Dehydrogenase in Gegenwart des Koenzyms PQQ in Gluconolacton umgesetzt. Aus dem dabei entstehenden elektrischen Strom wird innerhalb von 5s der aktuelle Blutglucosewert hergeleitet. Das „ACCU-CHEK®-Aviva“ umfasst einen Messbereich von 10-600 mg/dl (Accu-Chek, 2010).

3.3.4 Anthropometrie

Nach Bestimmung der Körpergröße und des Körpergewichts folgte die Ermittlung des Taillen- sowie Hüft- und Oberschenkelumfangs in stehender Position mit Hilfe eines Körperumfangmaßbandes (2,0 m Länge).

3.3.5 Bestimmung der Maximalkraft

Die Messung der isometrischen Muskelmaximalkraft erfolgte an DAVID-Testgeräten (DAVID, 2011) im Medizinischen Trainings- und Rehabilitationszentrum (MTR) der Universitätsklinik Tübingen (UKT). Bei der Testmethode handelt es sich um eine apparativ gestützte isometrische Maximalkraftanalyse (Denner, 1997). Die Erfassung der Messwerte erfolgt über

in die Drehachse integrierte Drehmomentsensoren, die die Messwerte an die Messkassette weiterleiten. Diese zeichnen dann wiederum die maximal ausgeübten Drehmomente in der Einheit Newtonmeter (Nm) auf.

Insgesamt wurden fünf DAVID-Testgeräte ausgesucht, so dass der Kraftzuwachs der Muskelgruppen, die durch das Kraft- und Vibrationstraining angesprochen werden sollten, durch die Tests erfasst werden konnte. Die Geräte wurden individuell an die einzelnen Probanden angepasst und die jeweiligen Einstellungen beim Eingangstest notiert. Somit konnte die Testung beim Ausgangstest in denselben Positionen und daher unter gleichen Bedingungen wiederholt werden.

Die Messung startete mit einer zehnmütigen Aufwärmphase auf dem Fahrradergometer. Anschließend erfolgte die Maximalkrafttestung in einer festgelegten Reihenfolge, insgesamt an 5 verschiedenen Muskelgruppen, die an den 5 Testgeräten jeweils im Sitzen ermittelt wurde. Zur Vermeidung einer Überlastung und zur optimalen Vorbereitung auf die Maximalkraftmessungen sollten die Probanden das jeweilige Gerät zunächst bei geringem Widerstand ausprobieren. Anschließend wurden die Probanden im Testgerät fixiert und der Hebelarm des Gerätes in einer standardisierten Position verriegelt, so dass ausschließlich die gewünschte Muskulatur beansprucht werden konnte. Auf Anweisung des Studienleiters sollte dann mit maximaler Kraft drei Sekunden gegen das Gewicht gedrückt werden. Dabei wurde auf das Unterlassen ruckartiger Druckbewegungen gegen den Hebelarm geachtet, um Peaks und somit Verfälschungen der Werte zu vermeiden. Die Messungen wurden jeweils zweimal an der jeweiligen Muskelgruppe wiederholt und anschließend der Durchschnittswert notiert. Bei Abweichung der Messergebnisse $> 10 \%$, wurde eine dritte Messung durchgeführt. In diesem Fall wurde der Durchschnitt aus den beiden näher beieinander liegenden Werten errechnet und notiert. Die Geräte werden nachfolgend mit Hilfe von Herstellerangaben (DAVID) beschrieben.



DAVID F130



DAVID F110



DAVID F500



DAVID F200



DAVID F300

Abb. 1: DAVID-Testgeräte.

DAVID F130 LWS/BWS Flexion

Zur Testung des M. rectus abdominis wurde das DAVID-Gerät F130 (Abb. 1) verwendet. Damit die Drehachse des Gerätes der Drehachse des Probanden entsprach, musste die Sitzhöhe so eingestellt werden, dass sich die Crista iliaca auf Höhe der angebrachten Markierung des F130 befand. Außerdem sollten die Fußplatte und die Kniefixation so positioniert werden, dass ein Oberschenkel-Unterschenkel-Winkel von 80° bis 90° erzielt wurde. Zusätzlich wurden zwei Polster vor den Schultern oberhalb des M. pectoralis major fixiert. Die daran angebrachten Handgriffe sollten von den Probanden berührt, jedoch nicht aktiv zur Kraftausübung verwendet werden. Mit Hilfe eines Gurtes, wurde die Fixierung des Beckens gewährleistet. Dann erfolgte die Verriegelung der Position bei 0°. In der Ausführung sollten die Probanden schließlich mit maximaler Kraft ihrer Bauchmuskeln gegen die Polster arbeiten.

DAVID F110 LWS/BWS Extension

Mit dem Gerät DAVID F110 (Abb. 1) konnte die Maximalkraft des M. erector spinae bestimmt werden. Damit die Drehachse des Gerätes der Drehachse des Probanden entsprach, musste die Sitzhöhe so eingestellt werden, dass sich die Crista iliaca auf Höhe der angebrachten Markierung des F110 befand. Außerdem sollten Fußplatte und Kniefixation so positioniert werden, dass ein Oberschenkel-Unterschenkel-Winkel von 80° bis 90° erzielt wurde. Das Rückenpolster sollte sich auf Höhe der Schulterblätter befinden, während die Arme locker neben dem Körper hingen. Die Fixierung des Beckens wurde durch einen Gurt gewährleistet und die Arretierung der Position erfolgte bei einer Oberkörperflexion von 30°. Zur Ermittlung der Maximalkraft erhielten die Probanden die Anweisung einen maximalen Druck gegen das festgestellte Rückenpolster aufzubauen.

DAVID F500 Schulterstabilisatoren

Zur Testung der vorderen Schulterstabilisatoren (M. pectoralis major, M. pectoralis minor, M. serratus anterior sowie M. coracobrachialis) wurde das

Gerät DAVID F500 eingesetzt (Abb. 1). Für eine optimale Sitzposition sollte der Rücken der Probanden fest der Rückenlehne anliegen. Die Sitzhöhe wurde so eingestellt, dass der Thorax-Oberarm-Winkel bei 90° lag und die Fußsohlen sollten festen Kontakt zum Boden haben. Mit einem Winkel zwischen Oberarm und Rippen von 90° lagen die Innenseiten der Oberarme den Polstern von außen an. Zur Ermittlung der Maximalkraft wurden die Armpolster bei 60° eingerastet. Während die Handinnenflächen der Probanden zur Unterstützung der Übungsausführung Griffe berührten, sollte jedoch vorwiegend mit den Innenseiten beider Oberarme gleichmäßig die maximale Kraft gegen die Polster ausgeübt werden.

DAVID F200 Knieextension

Mit dem Gerät DAVID F200 (Abb. 1) konnte die Maximalkraft des M.quadriceps femoris ermittelt werden. Die Beinkraft wurde jeweils an den einzelnen Beinen und an beiden Beinen gleichzeitig getestet. Dafür wurde das Rückenpolster so eingestellt, dass die Drehachse des Bewegungsarmes des F200 der Drehachse des Kniegelenks des Probanden entsprach. Zudem musste eine Unterschenkelrolle abhängig von der Beinlänge und für eine optimale Hebelwirkung möglichst weit distal vor der Tibia positioniert werden. Die Rolle wurde in einem Kniewinkel von 60° Flexion fixiert. Für die Hände waren seitlich am Gerät Griffe angebracht. Abschließend wurde ein Gurt zur Beckenfixierung angelegt. Mit dem Rücken fest an die Lehne gedrückt und den Händen jeweils an Griffen seitlich des Sitzes, berührte das entsprechende Bein die gepolsterte Rolle, gegen die mit maximaler Kraft nach oben gedrückt werden sollte.

DAVID F300 Knieflexion

An dem Gerät F300 (Abb. 1) wurde die Maximalkraft der ischiocruralen Muskulatur getestet. Auch hier fand die Testung zunächst an beiden Beinen einzeln, anschließend an beiden Beinen gemeinsam statt. Das Rückenpolster wurde erneut so eingestellt, dass die Drehachse des Bewegungsarmes und der Kniegelenke übereinstimmten. Die Hände sollten an die Griffe seitlich des Gerätes gelegt werden. Nach Fixierung des Beckens durch einen Gurt, wurden

hier zusätzlich die Oberschenkel mit einem Polster fixiert, um die isolierte Testung der ischiocruralen Muskulatur zu garantieren. Das Unterschenkelpolster wurde bei einem Kniewinkel von 30° Flexion arretiert. Während der Testung lag der entsprechende Unterschenkel auf dem Polster, gegen das mit maximaler Kraft gedrückt werden sollte.

3.4 Trainingsmethoden

Unter Aufsicht der Verfasserin wurde über einen Zeitraum von 12 Wochen nach folgender Ordnung trainiert (Abb. 2):

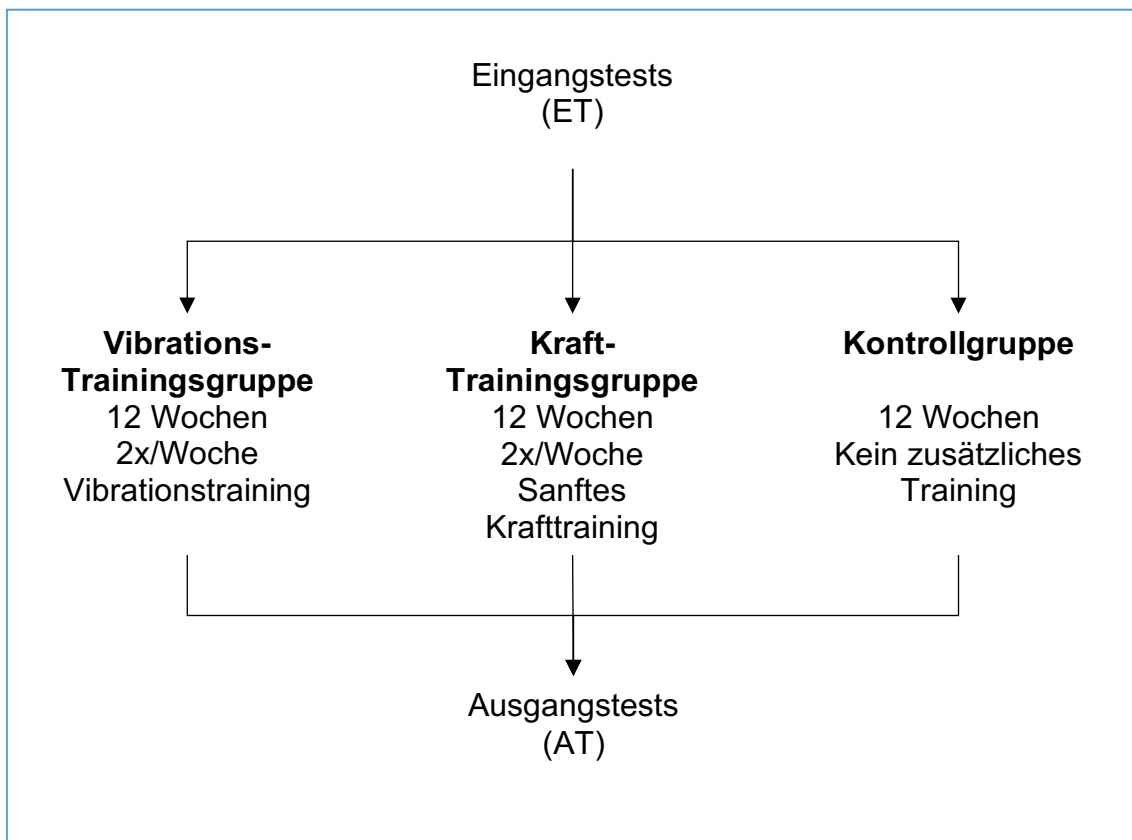


Abb. 2: Studienablauf

Fließdiagramm des zeitlichen Ablaufs der Studie. Eingangstests, anschließende Aufteilung in drei verschiedene Gruppen, abschließende Ausgangstests.

Die Kontrollgruppe nahm lediglich an den Tests zur Eingangs- und Ausgangsuntersuchung teil. Die Probanden behielten ihre bisherigen Lebens- und Trainingsgewohnheiten während der Studiendauer bei.

3.4.1 Vibrations-Training

Geräte zum Vibrations-Training

Trainiert wurde mit dem seitenalternierenden Vibrationsgerät Galileo® Fitness (Novotec Medical GmbH, Pforzheim). Das Trainingsgerät setzt sich aus einer Basiseinheit mit Vibrationsplatte sowie einer vormontierten Haltestange mit Bedienpanel zusammen (Abb. 3).



Abb. 3: Galileo® Fitness

Das Galileo® Fitness ist als Medizinprodukt registriert und zertifiziert (CE). Seine technischen Daten sind in Tabelle 5 zusammengefasst:

Tab. 5: Technische Daten zum Galileo® Fitness

Maße Basiseinheit	800 x 470 x 180 mm
Gesamtmaße	800 x 590 x 1300 mm
Frequenz (von/bis)	5 - 30 Hz
Amplitude (von/bis)	0 - ±5,2 mm (Hub: 10,4 mm)
Max. Belastbarkeit	160 kg
Leistungsaufnahme	800 VA

An der Steuereinheit des Trainingsgerätes lassen sich Zeitdauer der Vibration (in 5 s Schritten, maximale Dauer 10 min) und Frequenz (5-30 Hz in 0,5 Hz Schritten) einstellen. Dabei führen niedrige Frequenzen zur Mobilisation der Muskulatur, hohe Frequenzen zu einer Steigerung der Muskelleistung. Die Amplitude kann über die Fußstellung beeinflusst werden: je weiter der Abstand beider Füße auf der Trainingsplatte ist, desto intensiver ist das Training. Bei beidfüßig maximaler Amplitude von 5,2 mm kann somit ein Hub von 10,4 mm erreicht werden.

Im Folgenden sollen die Übungen der Studie beschrieben werden. Für zwei Übungsausführungen wurde am Gestell des Gerätes ein Polyamid-Statikseil aus dem Kletterbedarf angebracht, um die entsprechende Muskulatur verstärkt anzusprechen.

Trainingsübungen

Die nachfolgenden Übungen wurden in Anlehnung an Schmitz (2006) und Clauss (2006) sowie nach Übungsvorschlägen der Novotec Medical GmbH so gewählt, dass sie vor allem die großen Muskelgruppen des Körpers ansprechen (Abb. 4). Alle Übungen wurden statisch ausgeführt. Grundposition für die Trainingsaufgaben im Stehen (soweit unten nicht anders beschrieben) war eine

mittige Position auf der Vibrationsplatte. Die Füße sollten etwa hüftbreit bei einer Amplitude von 2 mm mit der ganzen Fußsohle die Platte berühren. Fuß-, Knie- und Hüftgelenk wurden leicht gebeugt. Bei Bedarf konnte die Körperposition durch lockeres Festhalten an den dafür vorgesehenen Griffen stabilisiert werden. Nach Einnahme der übungsgerechten Körperhaltung wurde die Vibration unter Kontrolle der Übungsleiterin gestartet.



Abb. 4: Vibrationstraining Übungen 1-7
Fotografien von der Studienleitung in der Sportmedizin Tübingen
erstellt. Abbildung mit freundlicher Genehmigung durch K. Knauel.

Übung 1

Hauptwirkungsort dieser Übung war die lumbale Rückenmuskulatur (M. erector spinae). Die Übung wurde im Stehen durchgeführt (Abb. 4). Bei der Ausführung wurde auf einen Rumpf-Oberschenkel-Winkel zwischen 90° und 110° sowie eine leichte Lordose der LWS geachtet. Rücken, Kopf und Arme sollten eine Linie bilden. Die Übertragung der Vibration auf die lumbale Rückenmuskulatur erfolgte in Abhängigkeit der Kniestreckung: Eine stärkere Streckung des Kniegelenks führte zu einer Erhöhung der Energieübertragung auf den Rumpf.

Übung 2

Der Hauptwirkungsort bei dieser Übung war die ischiocrurale Muskulatur. Die Übung wurde in Rückenlage durchgeführt, wobei die Füße gleich der Grundposition hüftbreit auf der Vibrationsplatte positioniert waren (Abb. 4). Die Beine wurden mit einem Oberschenkel-Unterschenkel-Winkel von ungefähr 70° gebeugt. Während Kopf und Schultern den Boden berührten, wurde das Becken während der gesamten Übung angehoben, so dass Rumpf und Oberschenkel eine Linie bildeten. Die Arme stabilisierten die Position, indem sie ausgestreckt neben dem Körper auf den Boden abgelegt wurden.

Übung 3

Mit Übung 3 konnte der M. latissimus dorsi trainiert werden. Als Hilfsvorrichtung wurde ein Polyamid-Statikseil verwendet, welches am unteren Ende des Gerätegestells befestigt wurde (Abb. 4). Die Übungsausführung fand im Stehen statt. Dabei sollten die Beine nur leicht gebeugt werden und der Winkel zwischen Rumpf und Oberschenkel zwischen 110° und 180° betragen. Der Rücken wurde in der Lendenwirbelsäule leicht lordosiert. Während die Oberarme dem Oberkörper angelegt wurden, bildeten Ober- und Unterarm einen rechten Winkel. Die Hände sollten das Seil fest greifen.

Übung 4

Der M. erector spinae war Hauptwirkungsort der vierten Übung. Auch hier wurde als Hilfsvorrichtung ein Polyamid-Seil verwendet. Diemal wurde es so am Gestell befestigt, dass es horizontal zu den Händen der Probanden verlief. Die Übung wurde im Stehen ausgeführt, wobei die Beine der Probanden nur leicht gebeugt waren. Der Winkel zwischen Rumpf und Oberschenkel sollte im Bereich von 110° bis 180° liegen, während die Lendenwirbelsäule in der Empfindung eher kyphosiert wurde. Die Arme lagen dem Oberkörper nahezu gestreckt an und waren retrovertiert. Mit den Händen fest am Seil, wurde über das Statikseil ein Zug der Arme und des Oberkörpers nach dorsal aufgebaut.

Übung 5

Hauptwirkungsort der fünften Übung sind die Muskeln M. pectoralis major und M. triceps brachii. Die Übung wurde im Vierfüßler-Stand durchgeführt, wobei sich die Hände schulterbreit auf der Vibrationsplatte und die Knie auf einer Matte vor der Vibrationsplatte positionierten. Daumen und Zeigefinger beider Hände sollten ein Dreieck bilden. Dabei wurden die Hände innenrotiert und die Daumen abduziert, so dass sie sich parallel zur Längsseite der Trainingsplatte befanden. In dieser Position sollten die Ellenbogen leicht gebeugt werden, damit die Erhöhung der Vibrationsübertragung auf Arm- und Brustmuskulatur sowie den Kopf vermieden werden konnte. Die Schultern positionierten sich senkrecht über den Händen und die Bauchmuskulatur sollte aktiv angespannt werden. Während die Knie angewinkelt wurden, durften die Unterschenkelvorderseiten den Boden berühren (Abb. 4).

Übung 6

Die sechste Übung hat seinen Hauptwirkungsort am M. rectus abdominis. Die Probanden sollten eine mittige Sitzposition auf der Vibrationsplatte einnehmen, die Füße durften den Boden berühren, oder zur Erschwerung der Übung auch von der Matte abgehoben werden. Die Oberschenkel waren parallel zum Boden ausgerichtet. Durch Oberkörperrücklage, sollte zwischen Oberschenkel und

Rumpf ein Winkel von ca. 135° eingehalten werden. Die Arme wurden vor dem Körper verschränkt und anschließend die Bauchmuskulatur aktiv angespannt (Abb. 4).

Übung 7

Der M. quadriceps femoris stellt den Hauptwirkungsort der Vibration bei der letzten Übung dar. Hierzu stellten sich die Probanden auf die Vibrationsplatte und beugten die Knie bis sie sich in einer möglichst tiefen Hockstellung befanden (Abb. 4). Hierbei sollten die Oberschenkel möglichst parallel zur Platte stehen. Der Rumpf-Oberschenkel-Winkel betrug im Optimum zwischen 60° und 80°. Während die Arme angewinkelt am Körper lagen, bildeten Oberkörper und Kopf eine Linie.

Trainingsablauf

Die Probanden der Vibrations-Trainingsgruppe trainierten während der 12 Interventionswochen zwei Mal pro Woche mit dem Galileo® Fitness Gerät in der Sportmedizin des UKT. So ergaben sich bei maximaler Trainingsteilnahme insgesamt 24 Trainingseinheiten. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Regeneration sollten zwischen den Einheiten ein bis zwei Ruhetage liegen.

Jede Trainingseinheit gliederte sich zu Beginn der Trainingszeit in

1. Aufwärmphase:
2 Minuten bei 12 Hz in der Grundposition.
2. Übungsphase:
7 Übungen à 1 Minute bei 18 Hz, zwischen den einzelnen Übungen jeweils 1 ½ Minuten Pause. Während der Übungen wurde die Fußposition jeweils beibehalten.

Die Aufwärmphase blieb während des gesamten Trainingszeitraums unverändert, während die Trainingsintensität der Übungsphase alle drei Wochen durch eine Erhöhung der Frequenz um 2 Hz gesteigert wurde. Gleichzeitig wurde die Trainingsdauer jeweils um 10 Sekunden verlängert. Am

Ende der Trainingszeit ergab sich somit für alle Übungen eine Dauer von 1 ½ Minuten und eine Frequenz von 24 Hz. Dadurch änderte sich die Dauer der einzelnen Trainingseinheiten von anfangs 20 Minuten auf schließlich 23 Minuten am Ende der Studie. Die Amplitude wurde konstant bei 2 mm beibehalten. Aufgrund der Seitenalternierung des Gerätes blieb die Fußstellung bei allen Übungspositionen konstant, so dass keine Progression der Amplitude vorlag.

Aufgrund der 1 1/2-minütigen Pause zwischen den einzelnen Übungen konnten immer zwei Probanden gemeinsam eine Trainingseinheit durchführen und sich mit den Übungen auf dem Vibrationsgerät abwechseln. Das Training wurde an allen Werktagen von 16:00 bis 20:00 Uhr angeboten. Die Terminvereinbarung wurde dabei individuell abgestimmt.

Trainingskontrolle

Nach Abschluss der Eingangsmessungen erhielten die Probanden eine Einführung in das Vibrationstraining. Dabei wurden die einzelnen Übungen von der Übungsleiterin vorgestellt und von den Probanden selbst ausprobiert. Während der gesamten Studienzeit wurden vor und nach dem Training sowohl der Blutdruck als auch der Blutzucker gemessen. Außerdem überwachte die Studienleiterin stets die Trainingseinheiten, um eine korrekte Durchführung der Übungen zu gewährleisten. So konnten die exakte Körperposition überprüft und eine eventuelle Fehlhaltung sofort korrigiert werden. Die Probanden besaßen ihren eigenen Trainingsplan (Anhang, Abb. 37), in den die Studienleiterin zu jeder Übungseinheit den gemessenen Blutdruck und Blutzucker dokumentierte. Sowohl Frequenz und Dauer der Vibration als auch das subjektive Belastungsempfinden nach der Borgskala (Anhang, Abb. 35) wurden selbständig durch die Probanden eingetragen.

Trainingsausschluss

Ein Trainingsausschluss erfolgte bei Auftreten eines der Ausschlusskriterien (Tab. 4) oder bei vor der jeweiligen Trainingseinheit gemessenen Blutdruckwerten $> 200/100$ mmHg. Unterschritt der gemessene Blutzucker vor dem Training den Wert von 70 mg/dl, wurde den Probanden zur Vermeidung einer Hypoglykämie Traubenzucker verabreicht. Überschritt der Blutzucker vor dem Training den Wert von 250 mg/dl, wurde ein Schnelltest auf Ketone im Urin durchgeführt. Bei positivem Testergebnis wurde der Proband am betreffenden Tag vom Training ausgeschlossen.

3.4.2 Sanftes Krafttraining

Geräte des sanften Kraft-Trainings

Das sanfte Kraft-Training sollte vor allem die großen Muskelgruppen des Körpers ansprechen. Somit wurden fünf handelsübliche Kraftgeräte zum Aufbau der Bauch-, Rücken-, Brust- sowie der vorderen- und hinteren Oberschenkelmuskulatur gewählt. Als Trainingsgeräte kamen ein Bauchtrainer, ein Ruderzug, ein Butterfly, eine Beinpresse und ein Leg Curl zum Einsatz (Abb. 5).

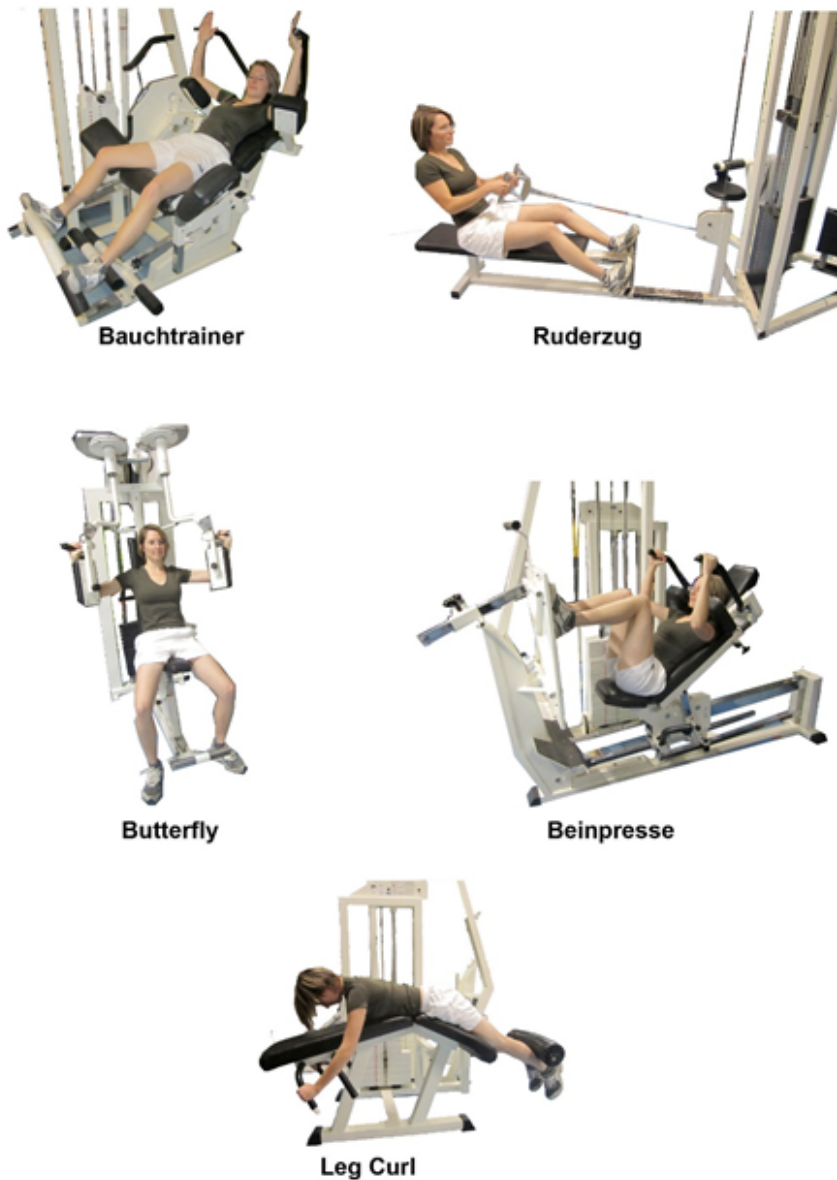


Abb. 5: Krafttraining Trainingsgeräte
Bauchtrainer, Ruderzug, Butterfly, Beinpresse, Leg Curl.
Fotografien von der Studienleitung im Krafraum des Instituts für Sportwissenschaften der Universität Tübingen erstellt. Abbildung mit freundlicher Genehmigung durch K. Knauel.

Trainingsübungen

Alle Trainingsübungen wurden dynamisch ausgeführt. Dabei sollten Agonisten und Antagonisten einheitlich stark belastet werden, um eventuelle Dysbalancen zu vermeiden.

Bauchtrainer

Der Bauchtrainer trainierte hauptsächlich den M. rectus abdominis. Die Übung wurde in halbliegender Position durchgeführt. Eine Fußplatte, Ellenbogenaufgaben und Handgriffe verliehen dem Trainierenden Stabilität. In der Ausführung konnte der Wechsel von Körperstreckung und Crunch-Bewegung eine maximale Kontraktion der geraden Bauchmuskulatur bewirken.

Ruderzug

Mit dem Ruderzug wurden folgende Muskelgruppen angesprochen: M. erector spinae, M. latissimus dorsi, M. trapezius sowie die Mm. rhomboidei. Weitere Trainingseffekte konnten am M. deltoideus, M.teres major, M. biceps brachii und M. rectus abdominis erreicht werden. Die Ausführung der Übung erfolgte in sitzender Position. Dabei wurden die Füße gegen eine Fußplatte gepresst. Im Verlauf der Übung waren die Beine leicht gebeugt und der Oberkörper um 45° in Rücklage. Der Rumpf-Oberschenkel-Winkel sollte ungefähr 135° betragen. Diese Position sollte gehalten werden, während das Gewicht auf Brusthöhe an den Körper herangezogen wurde. Dabei sollten sich nur die Arme aus einer fast vollständigen Streckung in die maximale Beugung bewegen.

Butterfly

Der Hauptwirkungsort des Butterflys war der M. pectoralis major. Das Training der Brustmuskulatur erfolgte ebenfalls im Sitzen. In der Ausführung wurde auf einen ständigen Kontakt der Wirbelsäule mit dem Rückenpolster geachtet. Der Winkel zwischen Rumpf und Oberarmen sollte ungefähr 70° betragen. Während die Innenseiten der Oberarme an die Polster gelegt wurden, sollten die Hände die Griffe umfassen. Ausgehend von dieser Position, sollte durch Druck der

Oberarme auf die Polster eine möglichst gleichmäßige Bewegung aus Öffnen und Schließen der Arme erfolgen.

Beinpresse

Der M. quadriceps femoris galt als Hauptwirkungsort der Beinpresse. Geringere Trainingseffekte konnten an der ischiocruralen Muskulatur, den Ad- und Abduktoren sowie der Gesäß- und Wadenmuskulatur beobachtet werden. Die Übung zur Kräftigung der Oberschenkelmuskulatur wurde im Sitzen durchgeführt. Dabei war die Rückenlehne um 45° nach hinten geneigt. Mit den Füßen an der Fußplatte sollte ein Winkel zwischen Ober- und Unterschenkel $\geq 90^\circ$ eingehalten werden. Die Fußspitzen sollten hierbei mindestens auf Höhe der Knie sein. Zur Stabilisation dienten seitlich angebrachte Handgriffe. Aus der Beugung in Knie und Hüftgelenk heraus, wurde in die Streckung der Beine gearbeitet. Zur Vermeidung von Knieschäden sollte jedoch keine maximale Streckung des Kniegelenkes erfolgen.

Leg Curl

Zur Beanspruchung des M. biceps femoris diente der Beinbeuger (Leg Curl). Die Probanden befanden sich hierzu in Bauchlage und stabilisierten ihre Position mit Hilfe von seitlich angebrachten Haltegriffen. Die Kraftübertragungsrolle sollte möglichst weit distal dem Unterschenkel anliegen und während der Übung möglichst in Position bleiben. Während der Ausführung fand ein Wechsel zwischen Kniebeugung und Kniestreckung statt.

Trainingsablauf

Das Kraft-Training wurde über 12 Wochen zwei Mal wöchentlich an Geräten der Krafthalle des Instituts für Sportwissenschaft der Universität Tübingen durchgeführt. Somit konnte auch für das sanfte Kraft-Training ein maximales Trainingspensum von 24 Trainingseinheiten erreicht werden. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Regeneration sollten entsprechend des Vibrationstrainings auch beim Krafttraining ein bis zwei Ruhetage zwischen den Trainingseinheiten eingehalten werden. Mögliche Trainingszeiten waren

Dienstag und Donnerstag von 7:30 bis 9:00 Uhr, Montag, Mittwoch und Freitag von 14:00 bis 15:30 sowie samstags von 16:00 bis 17:30 Uhr. Dabei wurde das Training in Gruppen von maximal 5 Probanden durchgeführt. Es gliederte sich in eine Aufwärm- und eine Übungsphase, die im Folgenden näher erläutert werden:

1. Aufwärmphase:
10 Minuten auf dem Fahrradergometer, individuelle Wahl der Intensität nach Leistungsstärke
2. Übungsphase:
Zwei Serien à je 20 Wiederholungen an den fünf Fitnessgeräten, zwischen den Serien jeweils 5 Minuten Pause.

Das Startgewicht an den Kraftgeräten betrug im sanften Kraft-Training 50% der maximalen Leistungsfähigkeit. Dadurch wurde ein geringes Belastungsempfinden gewährleistet. Da die eingangs ermittelte Maximalkraft an den DAVID-Geräten nicht mit der Geräteeinstellung im Kraftraum des Sportinstituts kompatibel war, mussten die Startgewichte vor Beginn des ersten Trainings individuell neu bestimmt werden. Dazu wurde die Hälfte des maximal erreichten Gewichtes bei höchstens drei Wiederholungen als Startgewicht festgelegt. Während die Aufwärmphase im Verlauf des gesamten Trainings unverändert blieb, gab es in der Übungsphase alle drei Wochen eine Trainingsanpassung: Beim Bauchtrainer sowie dem Butterfly entsprach dies einer Steigerung um jeweils 3 kg. Am Ruderzug und Leg Curl wurden die Gewichte um 5 kg erhöht, bei der Beinpresse um 10 kg. Die Anzahl der Serien und Wiederholungen wurden nicht verändert. Eine Trainingseinheit dauerte durchschnittlich 45 Minuten.

Trainingskontrolle

Die Geräte waren einfach zu bedienen und ermöglichten mit ihrer ergonomischen Einstellung eine saubere Bewegungskontrolle. Somit konnten die Probanden das Training weitgehend selbständig durchführen. Um eine korrekte Durchführung des Trainings zu gewährleisten sowie eine

Korrektur der Geräteeinstellung oder der Körperposition vornehmen zu können, stand den Probanden in allen Trainingseinheiten stets eine Studienleiterin zur Seite. Unterstützend wurde jedem Teilnehmer zu Beginn der Studie ein Trainingsplan erstellt (Anhang, Abb. 38). In diesem dokumentierte die Studienleiterin, analog zum Trainingsplan der Vibrations-Trainingsgruppe das Datum der Trainingseinheit, den Blutdruck vor und nach dem Training sowie den gemessenen Blutzucker vor und nach dem Training. Zudem konnten die Probanden selbständig ihre Trainingsgewichte sowie das subjektive Belastungsempfinden anhand der Borgskala (Anhang, Abb. 35) eintragen.

Trainingsausschluss

Ein Trainingsausschluss erfolgte beim sanften Kraft-Training unter denselben Voraussetzungen wie beim Vibrations-Training.

3.4.3 Statistische Analyse der Daten

Die statistische Auswertung der Untersuchungsergebnisse erfolgte anhand des Statistikprogramms ‚Predictive Analysis Soft Ware‘ (PASW) Version 18 für Windows der Statistikfirma ‚Statistical Package for the Social Sciences‘ (SPSS). Im Rahmen der deskriptiven Statistik wurden soweit nicht anders vermerkt für kontinuierliche Merkmale das arithmetische Mittel (Mittelwert) sowie die Standardabweichung berechnet und in Säulendiagrammen dargestellt. Differenzen zwischen Eingangs- und Ausgangstest sind in den Tabellen mit 95% Konfidenzintervall angegeben. Vor Durchführung der Analysen wurden alle Merkmale nach Shapiro-Wilk auf Normalverteilung geprüft. Die nicht normalverteilten Merkmale Nüchternblutzucker und Triglyceride wurden bei logarithmischer Normalverteilung in der Grundgesamtheit als Log-normalverteilt angenommen. Die übrigen Merkmale wurden in der Grundgesamtheit als normalverteilt angenommen. Zur Überprüfung der Signifikanz der Mittelwertsveränderungen zwischen Eingangs- und Ausgangstests innerhalb der Trainingsgruppen, wurde der T-Test für verbundene Stichproben angewendet. Zur Feststellung eines signifikanten Unterschiedes der Merkmalsmittelwerte der verschiedenen Trainingsgruppen beim Ausgangstest

wurde bei den Stoffwechselfparametern zusätzlich eine Kovarianzanalyse unter Berücksichtigung der Eingangswerte durchgeführt. Ein p-Wert $\leq 0,05$ wurde als statistisch signifikant angesehen. Veränderungen der jeweiligen Merkmale zwischen den einzelnen Probanden im Vergleich Eingangs- und Ausgangstest, wurden ebenfalls in Säulendiagrammen dargestellt. Die Ergebnisse werden im Folgenden näher erläutert.

4 Ergebnisse

Gegenstand dieser Arbeit sind die Daten aller Probanden (N=24), die durchgehend an der Studie teilgenommen haben. Tab. 6 fasst charakteristische Merkmale der Gruppenmitglieder vor der Untersuchung zusammen. Das durchschnittliche Alter von 60 ($\pm 6,7$) Jahren in der Vibrationstrainings-, 66 ($\pm 6,0$) Jahren in der Krafttrainings- und 62 ($\pm 3,8$) Jahren in der Kontrollgruppe entspricht dem vorgegebenen Alter für die Studienzulassung von 46 bis 72 Jahren. Die Erkrankungsdauer lag im Mittel bei 16 ($\pm 9,9$) Jahren. Unter den Probanden befanden sich 6 insulinpflichtige Studienteilnehmer. Bezüglich der bisherigen Sportarten wurden Angaben über durchschnittlich 3,1 ($\pm 4,7$) Stunden/Woche gemacht. Die Compliance entspricht den wahrgenommenen von insgesamt 24 Trainingseinheiten. Mit einer Compliance von 97 ($\pm 5,8$) % liegen die Teilnehmer der Krafttrainings-Gruppe über der Compliance der Vibrations-Trainingsgruppe mit 95 ($\pm 7,0$) %. 9 Teilnehmer nahmen an allen 24 Trainingseinheiten teil. Die Probanden 1 (Vibrations-Trainingsgruppe) und 6 (Kraft-Trainingsgruppe) fehlten am häufigsten mit jeweils 4 verpassten Trainingstagen.

Tab. 6: Charakteristische Merkmale der Trainingsgruppen

Gruppe	Gesamt	Vibration	Kraft	Kontrolle
N	24	7	9	8
Alter (Jahre)	63 (\pm 6,1)	60 (\pm 6,7)	66 (\pm 6,0)	62 (\pm 3,8)
Zeit seit ED DM (Jahre)	16 (\pm 9,9)	15 (\pm 5,9)	15 (\pm 5,9)	20 (\pm 14)
Insulin- pflichtige	6	3	2	1
Bisheriger Sport (Stunden/ Woche)	3,1 (\pm 4,7)	6,0 (\pm 7,0)	1,7 (\pm 2,9)	2,2 (\pm 2,9)
Compliance*	96 (\pm 6,1)	95 (\pm 6,9)	97 (\pm 5,8)	-

*Compliance als Anteil besuchter Trainingseinheiten (von maximal 24) Compliance wurde als Anteil besuchter Trainingseinheiten (von maximal 24) berechnet und kann daher für die Kontrollgruppe nicht angegeben werden.

4.1 Lipidstoffwechsel

Um Veränderungen innerhalb des Lipidstoffwechsels zwischen Ein- und Ausgangstest festzustellen, wurden bei den Probanden das Gesamtcholesterin, das HDL, das LDL sowie die Triglyceride bestimmt.

4.1.1 Gesamtcholesterin

Im Vergleich der Mittelwerte konnte in keiner der drei Gruppen eine Verbesserung des Gesamtcholesterins festgestellt werden. Gegenüber dem Eingangstest zeigt sich im Ausgangstest sogar in allen Gruppen ein Anstieg des Gesamtcholesterins (Tab. 7 und Abb. 6). Dabei ist die Zunahme des Gesamtcholesterins in der Vibrations-Trainingsgruppe mit $9,8 \pm 19$ mg/dl (+ 5,7 %) am höchsten und in der Kraft-Trainingsgruppe mit $0,5 \pm 2,4$ (+ 0,3 %) am niedrigsten. Insgesamt erreichte jedoch die Kontrollgruppe mit einem Anstieg auf 194 ± 49 mg/dl den höchsten Wert im Ausgangstest (Abb. 6).

Ergebnisse

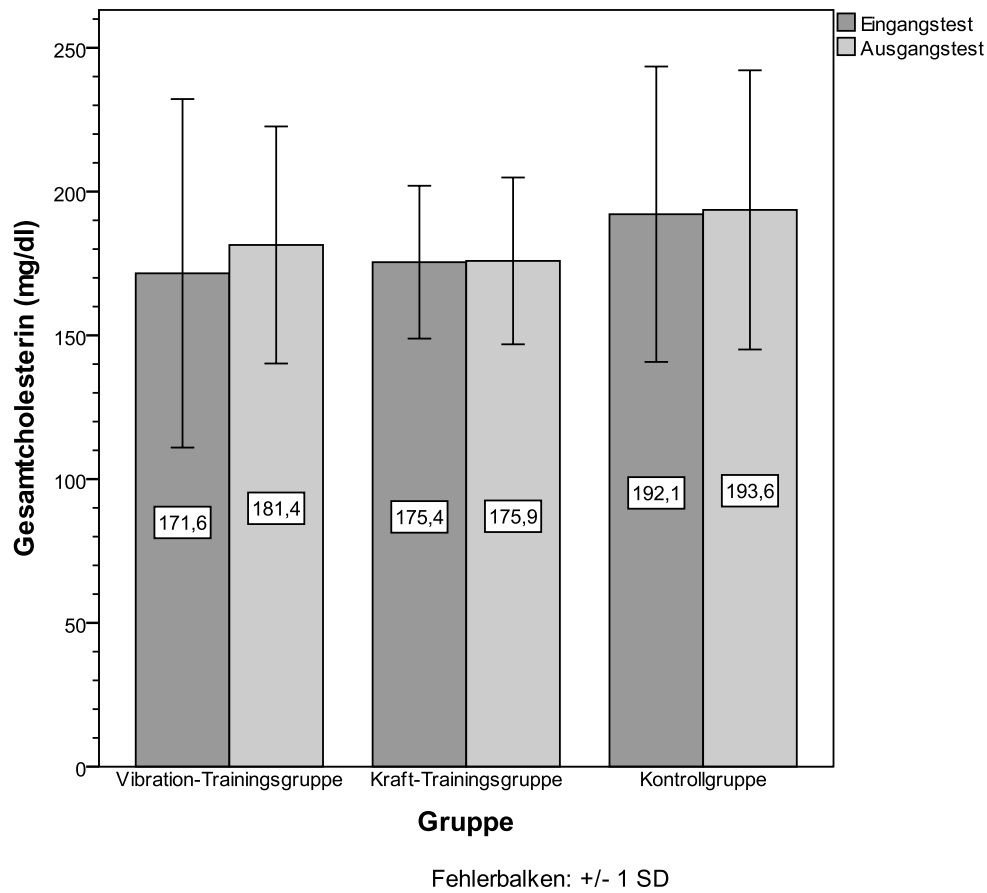


Abb. 6: Gesamtcholesterin (mg/dl).
Mittelwert des Gesamtcholesterins mit Standardabweichung bei Ein- und Ausgangstest.

Um Unterschiede bezüglich des Gesamtcholesterins zwischen Ein- und Ausgangstest in Abhängigkeit der einzelnen Gruppen festzustellen, wurden Einzelvergleiche in Form von t-Tests mit gepaarten Stichproben durchgeführt. Für die Vergleiche des Ein- und Ausgangstests ergab sich in keiner der Gruppen ein signifikantes Ergebnis (Tab. 7).

Ergebnisse

Tab. 7: Veränderung des Gesamtcholesterins (mg/dl) bei Ein- und Ausgangstest

Trainings- gruppe	n	Mittelwert \pm SD		Differenz AT - ET (95% KI)	p-Wert
		ET	AT		
Vibration	7	172 \pm 61	181 \pm 41	9,9 (-16,5; 36)	,394
Kraft	9	175 \pm 27	176 \pm 29	0,4 (-24; 25)	,967
Kontrolle	8	192 \pm 51	194 \pm 49	1,5 (-25; 28)	,897

Mittelwert des Gesamtcholesterins (mg/dl) \pm Standardabweichung bei Ein- und bei Ausgangstest, Differenz (mg/dl) zwischen Aus- und Eingangstest nicht signifikant. n = Probandenzahl, SD: Standardabweichung, ET: Eingangstest, AT: Ausgangstest, 95% KI: 95% Konfidenzintervall.

Bei Betrachtung der einzelnen Probanden (Abb. 7) zeigt sich bei 10 von 24 Probanden eine Senkung des Gesamtcholesterins beim Ausgangstest im Vergleich zum Eingangstest (Proband 10, 13 (Vibrations-Trainingsgruppe), 6, 18, 19 (Kraft-Trainingsgruppe), 15, 21, 24, 25, 26 (Kontrollgruppe)). Die stärkste Veränderung ist bei Proband 19 aus der Kraft-Trainingsgruppe zu erkennen. Hier wurde eine Senkung des Gesamtcholesterins um 39 % von 193 mg/dl auf 118 mg/dl erreicht. Im Gegensatz dazu stieg der Wert des Gesamtcholesterins bei Proband 14 aus der Kontrollgruppe von 153 mg/dl auf 222 mg/dl um 45 % am stärksten an. Insgesamt hatte Proband 15 aus der Kontrollgruppe mit 283 mg/dl im Eingangstest und 281 mg/dl im Ausgangstest die höchsten Werte.

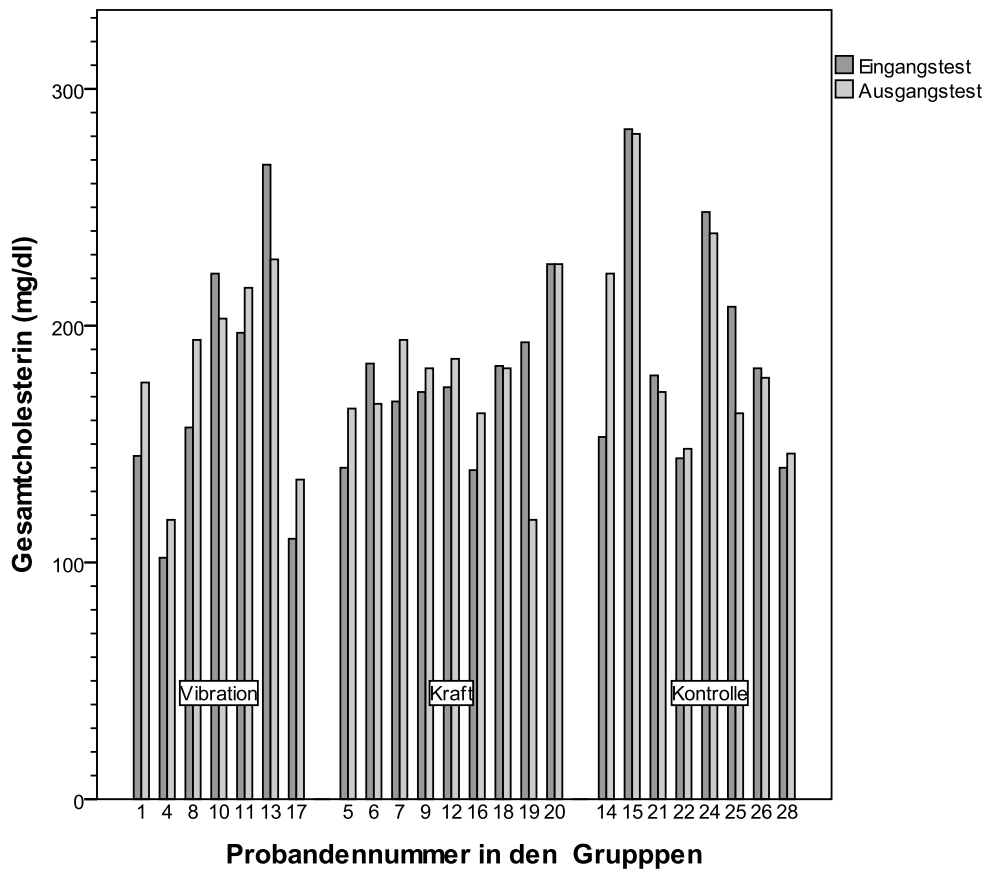


Abb. 7: Gesamtcholesterin (mg/dl).
 Mittelwerte der einzelnen Probanden bei Ein- und Ausgangstest.
 Vibration: Vibration-Trainingsgruppe, Kraft: Kraft-Trainingsgruppe,
 Kontrolle: Kontrollgruppe.

Innerhalb des Gruppenvergleichs wurde beim Eingangstest von einer signifikanten Veränderung zwischen Ein- und Ausgangstest ausgegangen ($p = 0,00$). Diese konnte mit der Kovarianzanalyse ($F = 0,224$ und $p = 0,801$) jedoch nicht bestätigt werden (Tab. 8).

Tab. 8: Gesamtcholesterin im Vergleich der Gruppen.

	Quadrat- summe	Freiheits- grade	Mittel der Quadrate	F	p- Wert
Gesamtcholesterin ET	19319,907	1	19319,907	27,395	,000*
Trainingsgruppe	316,467	2	158,233	0,224	,801
Fehler	14104,571	20	705,229		

Kovarianzanalyse des Gesamtcholesterins beim Ausgangstest unter Berücksichtigung der Eingangswerte. Gesamtcholesterin ET: Gesamtcholesterin am Eingangstest. Signifikanzniveau p , * = signifikantes Ergebnis.

4.1.2 HDL

Der Mittelwertvergleich für das HDL zeigt in den Interventionsgruppen eine Verbesserung der Werte. Innerhalb der Vibrations-Trainingsgruppe kam es dabei zu einem HDL-Anstieg um 2,3 mg/dl, in der Kraft-Trainingsgruppe um 2,9 mg/dl. Die Werte in der Kontrollgruppe blieben weitestgehend konstant bei ~ 39 mg/dl. Abbildung 8 stellt die Ergebnisse mit Hilfe eines Balkendiagramms dar.

Ergebnisse

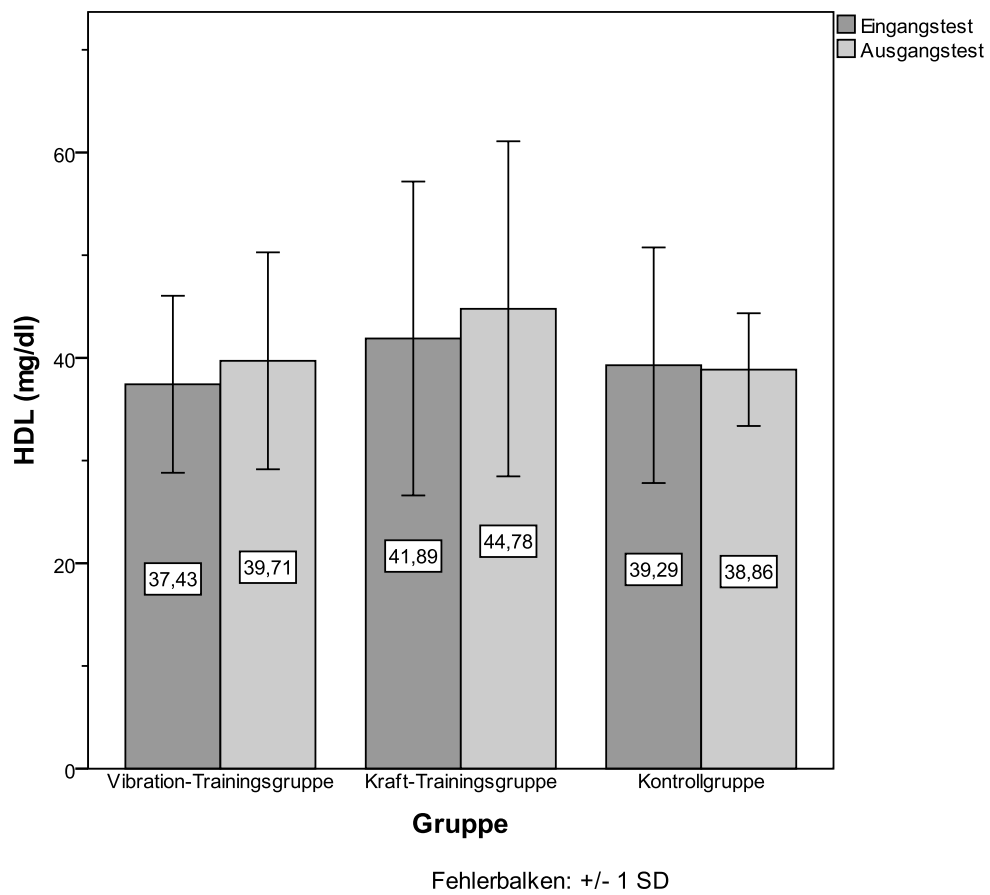


Abb. 8: HDL (mg/dl).
Mittelwert des HDL mit Standardabweichung bei Ein- und Ausgangstest.

Ergebnisse

Innerhalb der Einzelvergleiche zwischen Ein- und Ausgangstest (t-Tests mit gepaarten Stichproben), konnten jedoch keine signifikanten Ergebnisse ermittelt werden (Tab. 9).

Tab. 9: Veränderung des HDL (mg/dl) bei Ein- und Ausgangstest.

Trainings- gruppe	n	Mittelwert \pm SD		Differenz AT - ET (95% KI)	p-Wert
		ET	AT		
Vibration	7	37 \pm 8,6	40 \pm 10,6	2,3 (-2,6; 7,1)	,293
Kraft	9	42 \pm 15,3	45 \pm 16,3	2,9 (-3,7; 9,4)	,338
Kontrolle	8	39 \pm 11,5	39 \pm 5,5	-0,4 (-8,9; 8,1)	,906

Mittelwert des HDL (mg/dl) \pm Standardabweichung bei Ein und Ausgangstest, Differenz (mg/dl) zwischen Aus- und Eingangstest nicht signifikant. n: Probandenzahl, SD: Standardabweichung, ET: Eingangstest, AT: Ausgangstest, 95% KI: 95% Konfidenzintervall.

Abbildung 9 zeigt die HDL-Werte für die Probanden in zugehöriger Gruppe. Bei 15 Probanden ist ein Anstieg des HDL-Wertes beim Aus- im Vergleich zum Eingangstest sichtbar. Davon waren vier Probanden der Vibrations-Trainingsgruppe (4, 10, 11, 13), sieben der Kraft-Trainingsgruppe (5, 6, 7, 9, 12, 18, 19) und drei der Kontrollgruppe (14, 22, 26) zugeteilt. Den größten Anstieg des HDL-Wertes um 81 % von 16 auf 29 mg/dl konnte bei Proband 26 aus der Kontrollgruppe beobachtet werden. Aufgrund von Messfehlern konnte Proband 24 beim Ein- und Ausgangstest nicht berücksichtigt werden (Abb. 9).

Ergebnisse

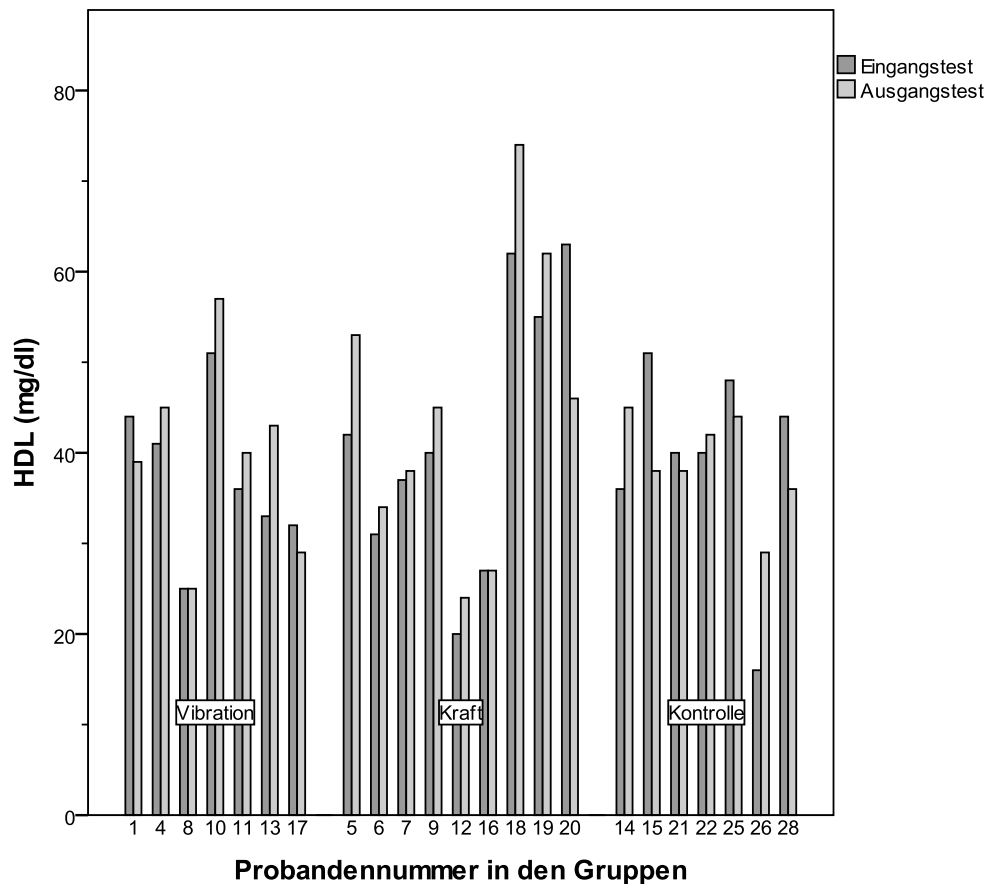


Abb. 9: HDL (mg/dl).

Mittelwerte der einzelnen Probanden bei Ein- und Ausgangstest.
Vibration: Vibration-Trainingsgruppe, Kraft: Kraft-Trainingsgruppe,
Kontrolle: Kontrollgruppe.

Im Gruppenvergleich ergibt die Kovarianzanalyse zwischen den Trainingsgruppen keinen signifikanten Unterschied in der Veränderung des HDL-Mittelwertes zwischen Ein- und Ausgangstest (s. Tab. 10). Gleichzeitig sagt jedoch der HDL-Wert des Eingangstests bei einem p-Wert von 0,000 signifikant den HDL-Wert des Ausgangstests vorher (Tab. 10).

Tab. 10: HDL im Vergleich der Gruppen.

	Quadrat- summe	Freiheits- grade	Mittel der Quadrate	F	p- Wert
HDL ET	1881,909	1	1881,909	32,567	,000*
Trainingsgruppe	59,303	2	29,651	0,513	,607
Fehler	1097,932	19	57,786		

Kovarianzanalyse des HDL beim Ausgangstest unter Berücksichtigung der Eingangswerte. HDL ET: HDL am Eingangstest. Signifikanzniveau p, * = signifikantes Ergebnis.

4.1.3 LDL

Für das LDL ist im Mittel bei folgenden Gruppen eine Reduzierung im Aus- gegenüber dem Eingangstest zu erkennen: in der Kraft-Trainingsgruppe um 14 mg/dl (12,8 %) und der Kontrollgruppe um 6,8 mg/dl (5,9 %). Somit konnte der LDL-Wert innerhalb der Kraft-Trainingsgruppe unter den prognostisch günstigen LDL-Grenzwert von 100 mg/dl gesenkt werden. In der Vibrations-Trainingsgruppe kam es zu einem minimalen Anstieg des LDLs um 0,2 mg/dl. Abbildung 10 zeigt die Ergebnisse in einem Balkendiagramm.

Ergebnisse

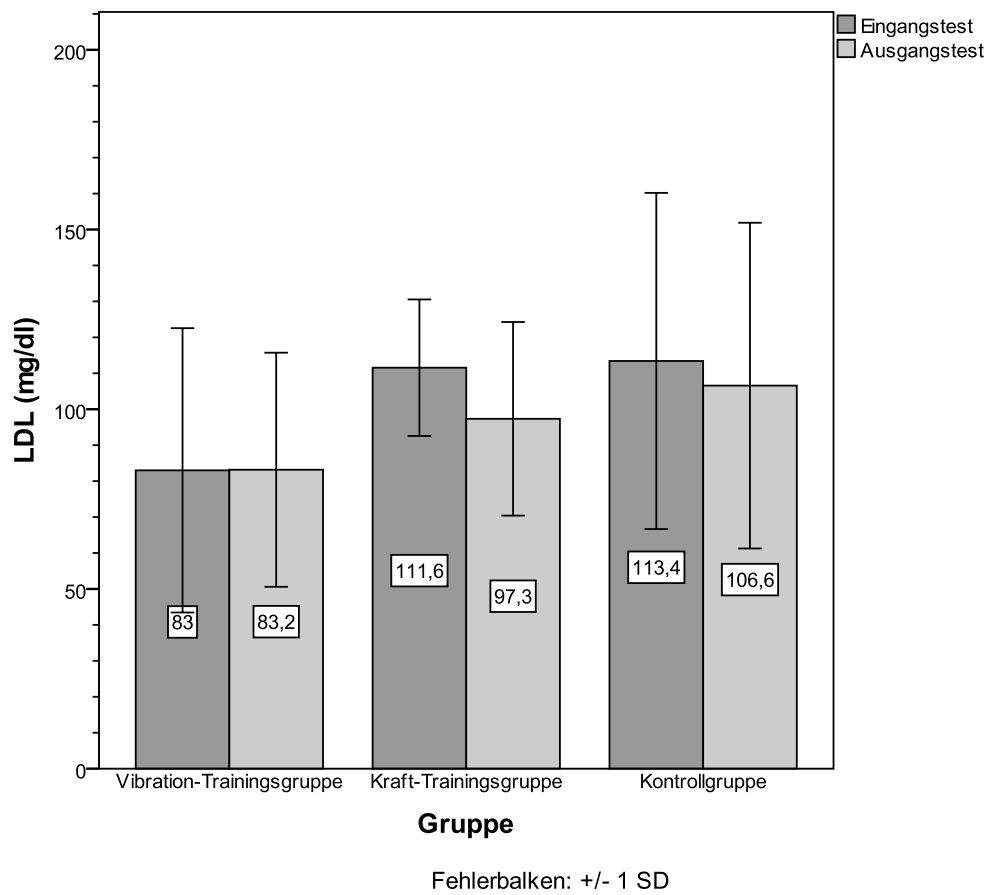


Abb. 10: LDL (mg/dl).
Mittelwert des LDL mit Standardabweichung bei Ein- und Ausgangstest.

Ergebnisse

Im Vergleich der Werte für Ein- und Ausgangstests in den einzelnen Gruppen konnten jedoch keine signifikanten Ergebnisse nachgewiesen werden (Tab. 11).

Tab. 11: Veränderung des LDL (mg/dl) bei Ein- und Ausgangstest.

Trainings- gruppe	n	Mittelwert \pm SD		Differenz AT - ET (95% KI)	p-Wert
		ET	AT		
Vibration	7	83 \pm 40	83 \pm 32	0,2 (-18,9; 19,3)	,938
Kraft	9	112 \pm 18,9	97 \pm 27	-14,2 (-38; 9,3)	,201
Kontrolle	8	113 \pm 47	107 \pm 45	-6,9 (-20; 6,1)	,243

Mittelwert des LDL (mg/dl) \pm Standardabweichung bei Ein und Ausgangstest, Differenz (mg/dl) zwischen Aus- und Eingangstest nicht signifikant. n: Probandenzahl, SD: Standardabweichung, ET: Eingangstest, AT: Ausgangstest, 95% KI: 95% Konfidenzintervall.

In Abbildung 11 wird die Veränderung der LDL-Werte aller einzelnen Probanden in den jeweiligen Gruppen dargestellt. Eine Senkung des LDLs im Ausgangstest gegenüber dem Eingangstest konnte bei Proband 8, 10 und 11 aus der Vibrations-Trainingsgruppe, 6, 9, 18, 19 und 20 aus der Kraft-Trainingsgruppe sowie 14, 22, 25 und 26 aus der Kontrollgruppe beobachtet werden. Dabei ist die Senkung des LDL-Wertes bei Proband 20 aus der Kraft-Trainingsgruppe am größten (von 131 auf 46 mg/dl um 65 %). Erfreulicherweise sank bei zwei Probanden aus der Kraft-Trainingsgruppe der LDL-Wert unter den Grenzwert von 100 mg/dl (Proband 9 und 20). Aufgrund von Messfehlern konnte Proband 24 beim Ein- Und Ausgangstest sowie Proband 13 beim Eingangstest nicht berücksichtigt werden (Abb. 11).

Ergebnisse

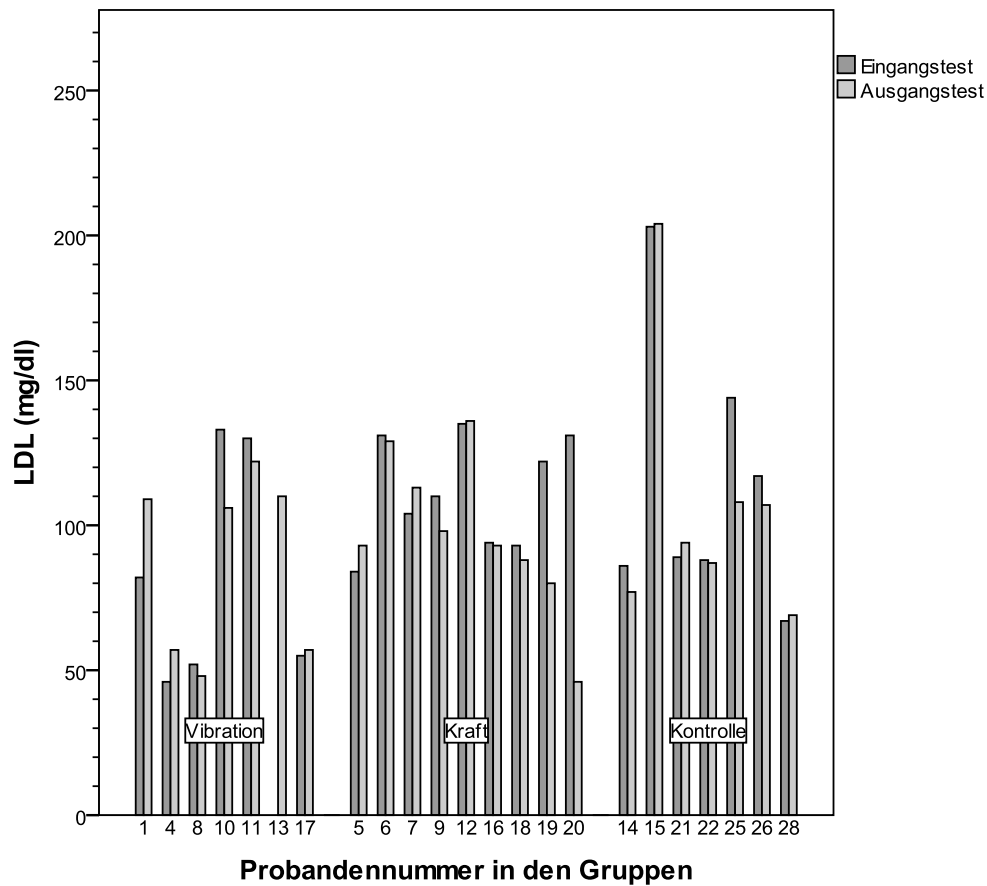


Abb. 11: LDL (mg/dl).

Mittelwerte der einzelnen Probanden bei Ein- und Ausgangstest.
Vibration: Vibration-Trainingsgruppe, Kraft: Kraft-Trainingsgruppe,
Kontrolle: Kontrollgruppe.

Im Vergleich der Gruppen wurde beim Eingangstest mit $p = 0,000$ ein signifikantes Ergebnis erwartet. Mit der Kovarianzanalyse konnte ein F-Wert von 0,314 und ein p-Wert von 0,73 ermittelt werden. Somit gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen (Tab. 12).

Tab. 12: LDL im Vergleich der Gruppen.

	Quadrat- summe	Freiheits- grade	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
LDL ET	14293,710	1	14293,710	28,165	,000*
Trainingsgruppe	318,809	2	159,404	0,314	,734
Fehler	9134,838	18	507,491		

Kovarianzanalyse des LDL beim Ausgangstest unter Berücksichtigung der Eingangswerte. LDL ET: LDL am Eingangstest. Signifikanzniveau p , * = signifikantes Ergebnis.

4.1.4 Triglyceride

Da die Werte der Triglyceride nicht normalverteilt waren, wurde zur Beschreibung der Veränderung zwischen Ein- und Ausgangstest der geometrische Mittelwert mit dem 95%-Konfidenzintervall berechnet und die Ratio aus den mittleren Werten der Ausgangs- und der Eingangstests gebildet. Anhand der logarithmisierten Werte konnte die Normalverteilung angenommen und der t-Test für die Einzelvergleiche zwischen Ein- und Ausgangstest in Abhängigkeit der einzelnen Gruppen durchgeführt werden (Tab. 13). Mit einer Ratio der geometrischen Mittelwerte < 1 zeigt sich nur innerhalb der Kontrollgruppe eine Verbesserung der Triglyceridwerte für den Ausgangs- im Vergleich zum Eingangstest. Die Veränderungen konnten jedoch nach Durchführung des t-Tests für gepaarte Stichproben in keiner Gruppe signifikant bestätigt werden.

Da die Darstellung der Ergebnisse in Säulendiagrammen aufgrund der sehr großen Standardabweichungen unübersichtlich gewesen wäre, wurden zur Veranschaulichung der Veränderungen innerhalb der Triglyceridwerte Boxplots gewählt (Abb. 12). Hier zeigt die dunkle Linie mittig des jeweiligen Boxplots den Median der Triglyceridverteilung. Die Begrenzung der Boxen gibt außerdem unten das 25. und oben das 75. Perzentil an. Während die Balken außerhalb der Box (sogenannte Whisker) die Maximalwerte der Triglyceride angeben, werden Ausreißer mit Kreisen und Probanden mit Extremwerten in

Ergebnisse

Form von Sternen dargestellt. Hierbei wird der mit Stern markierte Extremwert als kleinster bzw. größter Wert einer Messreihe definiert. Dahingegen beschreiben Ausreißer Werte, die außerhalb des zu erwartenden Streuungsbereichs liegen.

Tab. 13: Veränderung der Triglyceride (mg/dl) zwischen Eingangstest (ET) und Ausgangstest (AT) innerhalb der jeweiligen Trainingsgruppen.

Trainings- gruppe	n	Geometrischer Mittelwert (95% KI)		Ratio der geometrischen Mittelwerte AT/ET (95% KI)	p-Wert
		ET	AT		
Vibration	7	177 (107–304)	231 (149–372)	1,06 (1,00–1,10)	,396
Kraft	9	511 (88–123)	483 (98–153)	1,03 (0,99–1,01)	,209
Kontrolle	8	173 (113–287)	171 (106–283)	0,99 (0,96–1,03)	,966

Probandenzahl (n), geometrischer Mittelwert der Triglyceride (mg/dl) bei ET und AT mit 95% Konfidenzintervall (95% KI), Ratio der geometrischen Mittelwerte AT/ET mit 95% Konfidenzintervall (95% KI) nicht signifikant.

Ergebnisse

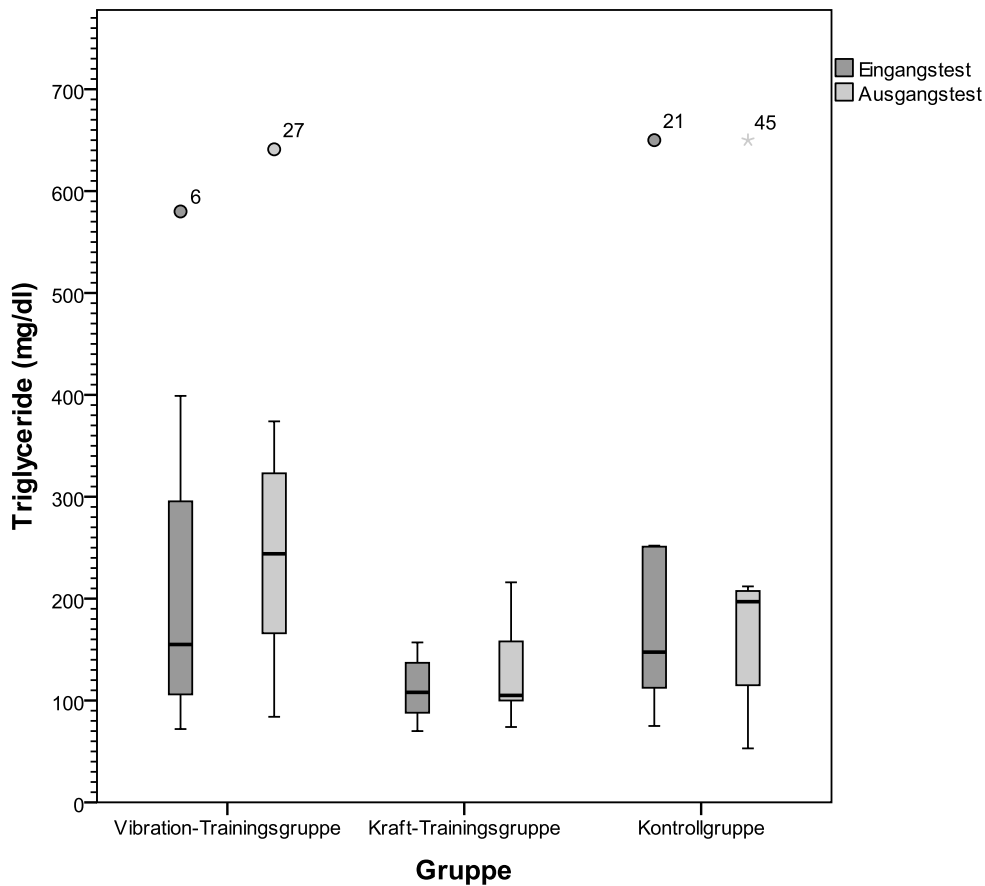


Abb. 12: Triglyceride (mg/dl) bei Ein- und Ausgangstest in Abhängigkeit der Gruppe (Median, Whisker, Kreis=Ausreißer, Stern=extreme Ausreißer).

Bei Betrachtung der einzelnen Probanden konnte bei folgenden Gruppenteilnehmern eine Senkung der Triglycerid-Konzentration im Ausgangstest gegenüber dem Eingangstest festgestellt werden: 13 (Vibration-Trainingsgruppe), 9, 18 und 19 (Kraft-Trainingsgruppe) sowie 14, 21, 25 und 26 (Kontrollgruppe). Die stärkste Senkung des Triglycerid-Wertes ist bei Proband 13 aus der Vibrations-Trainingsgruppe zu erkennen (von 580 auf 374 mg/dl um 36 %) (Abb. 13).

Ergebnisse

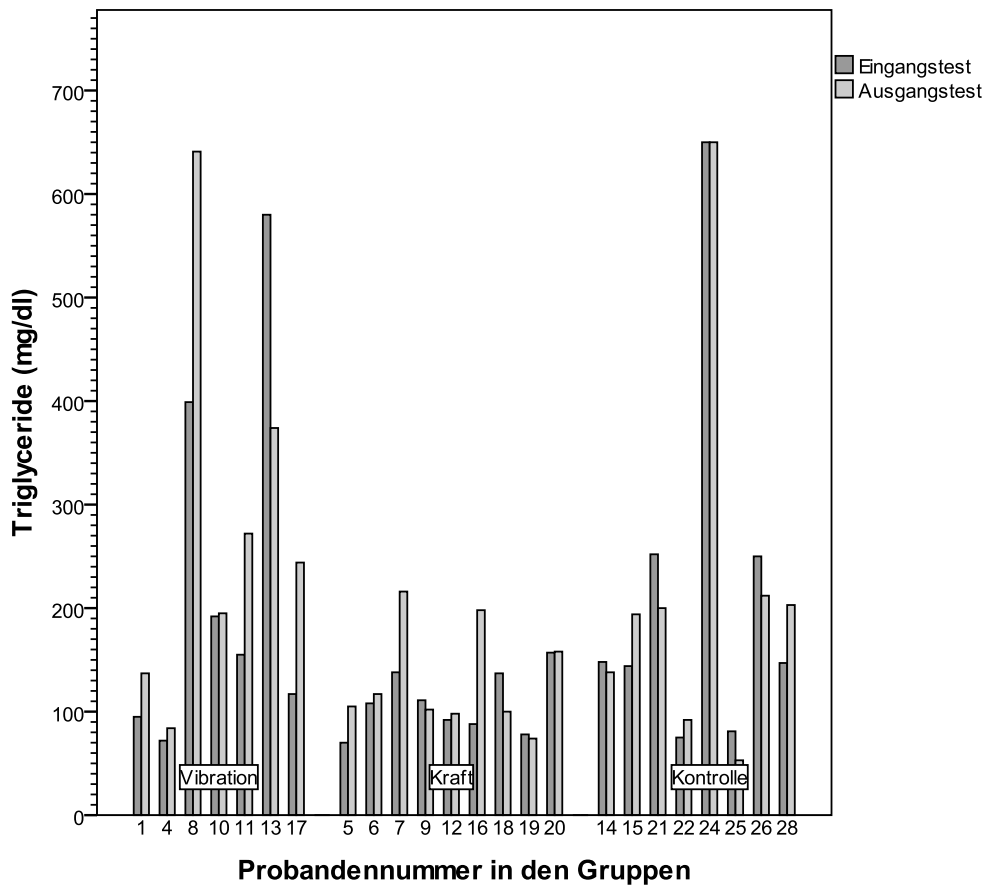


Abb. 13: Triglyceride (mg/dl).

Mittelwerte der einzelnen Probanden bei Ein- und Ausgangstest.
Vibration: Vibration-Trainingsgruppe, Kraft: Kraft-Trainingsgruppe,
Kontrolle: Kontrollgruppe.

Trotz der Signifikanzerwartung beim Eingangstest ($p = 0,000$), konnte bei der Kovarianzanalyse zwischen den Trainingsgruppen bei einem F-Wert von 0,844 und einem p-Wert von 0,445 kein signifikanter Unterschied in der Veränderung der mittleren Triglyceride gezeigt werden (Tab. 14).

Tab. 14: Triglyceride im Vergleich der Gruppen.

	Quadrat- summe	Freiheits- grade	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
Triglyceride ET	330265,985	1	330265,985	49,648	,000*
Trainingsgruppe	11230,596	2	5615,298	0,844	,445
Fehler	133043,927	20	6652,196		

Kovarianzanalyse der Triglyceride beim Ausgangstest unter Berücksichtigung der Eingangswerte. Triglyceride ET: Triglyceride am Eingangstest. Signifikanzniveau p, * = signifikantes Ergebnis.

4.2 Kohlenhydratstoffwechsel

Zur Beurteilung des Kohlenhydratstoffwechsels wurden bei allen Probanden vor und nach Abschluss der Intervention der Nüchternblutzucker und das HbA1c gemessen sowie ein Orale Glucosetoleranztest (OGTT) durchgeführt.

4.2.1 Nüchternblutzucker

Entsprechend der Triglyceride folgt auch die Verteilung des Nüchternblutzuckers nicht der Normalverteilung. Aus diesem Grund wurden hier dieselben statistischen Methoden zur Beschreibung und Analyse der Werte angewendet wie bereits unter 4.1.4. beschrieben. Im Mittel ergab sich für die Kraft- und die Kontrollgruppe eine Senkung des Nüchternblutzuckers beim Ausgangs- im Vergleich zum Eingangstest (Tab. 15). Dabei zeigen die Werte für Probanden der Kraft-Trainingsgruppe im geometrischen Mittel um 46 mg/dl von 623 auf 577 mg/dl ein größeres Gefälle als in der Kontrollgruppe (Senkung im geometrischen Mittel um 4 mg/dl von 144 auf 140 mg/dl). Nach dem t-Test für gepaarte Stichproben ergab sich jedoch für keine der Gruppen ein signifikantes Ergebnis. In Abbildung 14 werden die Ergebnisse mit Hilfe von Boxplots dargestellt (Abb. 14).

Ergebnisse

Tab. 15: Veränderung des Nüchternblutzuckers (mg/dl) zwischen Eingangstest (ET) und Ausgangstest (AT) innerhalb der jeweiligen Trainingsgruppen

Trainings- gruppe	n	Geometrischer Mittelwert (95% KI)		Ratio der geometrischen Mittelwerte AT/ET (95% KI)	p-Wert
		ET (mg/dl)	AT /mg/dl)		
Vibration	7	153 (138–170)	169 (153–188)	1,0 (1,0–1,1)	,130
Kraft	9	623 (125–188)	577 (118–179)	1,0 (1,0–1,0)	,169
Kontrolle	8	144 (132–162)	140 (117–168)	1,0 (1,0–1,0)	,935

Probandenzahl (n), geometrischer Mittelwert des Nüchternblutzuckers (mg/dl) bei ET und AT mit 95% Konfidenzintervall (95% KI), Ratio der geometrischen Mittelwerte AT/ET mit 95% Konfidenzintervall (95% KI) nicht signifikant.

Ergebnisse

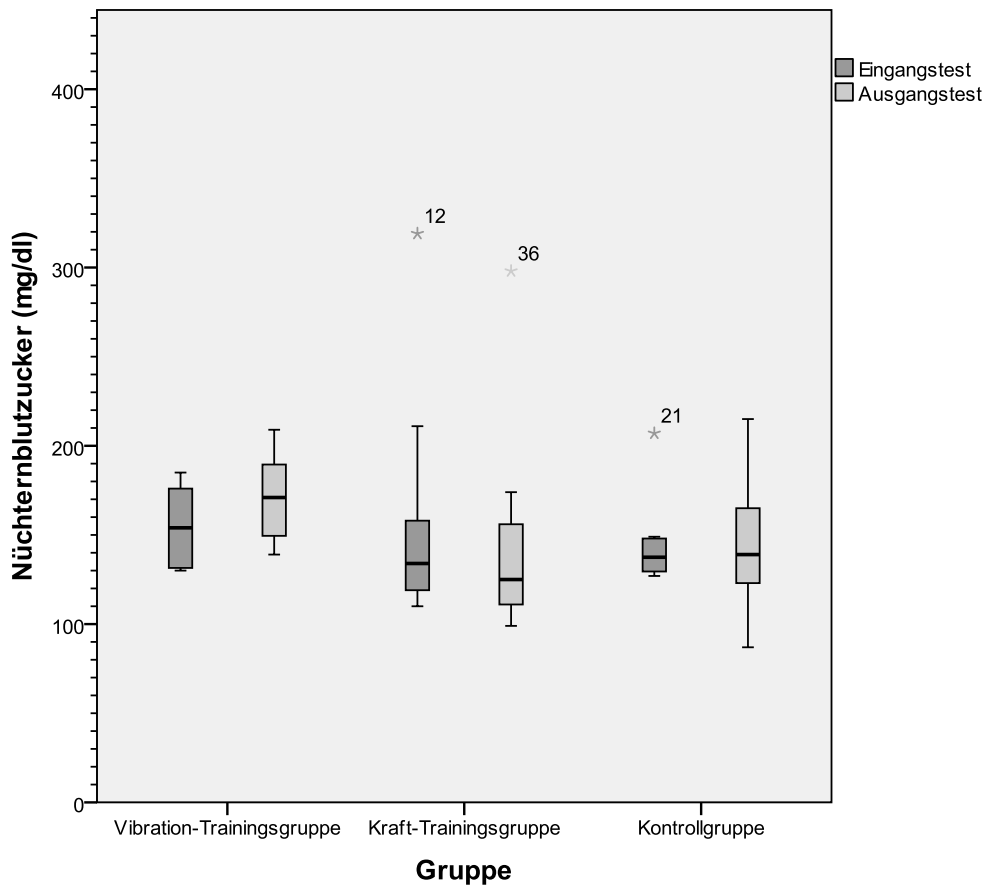


Abb. 14: Nüchternblutzucker

bei Ein- und Ausgangstest in Abhängigkeit der Gruppe (Median, Whisker, Kreis=Ausreißer, Stern=extreme Ausreißer).

Abbildung 15 zeigt die Nüchternblutzucker-Werte für die Probanden in zugehöriger Gruppe (Abb. 15). Bei 11 Probanden ist eine Senkung des Nüchternblutzucker-Wertes beim Ausgangstest im Vergleich zum Eingangstest sichtbar. Davon waren ein Proband der Vibrations-Trainingsgruppe (10), sechs der Kraft-Trainingsgruppe (7, 9, 12, 18, 19, 20) und vier der Kontrollgruppe (21, 24, 26, 28) zugeteilt. Die größte Senkung des Nüchternblutzucker-Wertes um 44 mg/dl von 131 auf 87 mg/dl (34 %) konnte bei Proband 26 aus der Kontrollgruppe beobachtet werden (Abb. 15).

Ergebnisse

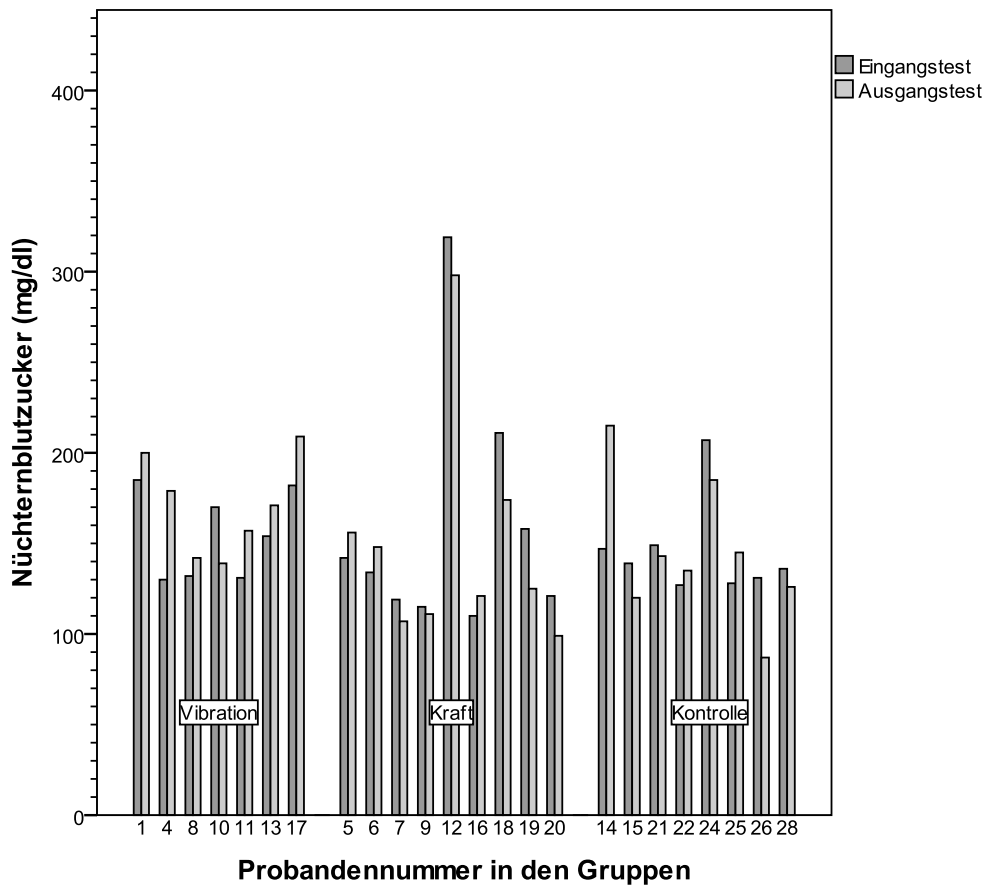


Abb. 15: Nüchternblutzucker (mg/dl).
Mittelwerte der einzelnen Probanden bei Ein- und Ausgangstest.
Vibration: Vibration-Trainingsgruppe, Kraft: Kraft-Trainingsgruppe,
Kontrolle: Kontrollgruppe.

Entgegen einer Signifikanzerwartung beim Eingangstest ($p = 0,00$), konnte bei der Kovarianzanalyse zwischen den Trainingsgruppen bei einem F-Wert von 1,976 und einem p-Wert von 0,165 kein signifikanter Unterschied in der Veränderung des mittleren Nüchternblutzuckers gezeigt werden (Tab. 16).

Tab. 16: Nüchternblutzucker im Vergleich der Gruppen.

	Quadrat- summe	Freiheits- grade	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
Nüchternblutzucker ET	31838,006	1	31838,006	47,281	,000*
Trainingsgruppe	2661,515	2	1330,757	1,976	,165
Fehler	13467,549	20	673,377		

Kovarianzanalyse des Nüchternblutzuckers beim Ausgangstest unter Berücksichtigung der Eingangswerte. Nüchternblutzucker ET: Nüchternblutzucker am Eingangstest. Signifikanzniveau p , * = signifikantes Ergebnis.

4.2.2 HbA1c

Bezüglich des HbA1c zeigte der Mittelwertvergleich in keiner der drei Gruppen eine Verbesserung des HbA1c-Wertes nach dem 12-wöchigen Training. Innerhalb der Vibrations-Trainingsgruppe blieben die Werte weitestgehend konstant, während es in der Kraft-Trainingsgruppe und der Kontrollgruppe zu einem Anstieg des HbA1c-Wertes kam (Abb. 16).

Ergebnisse

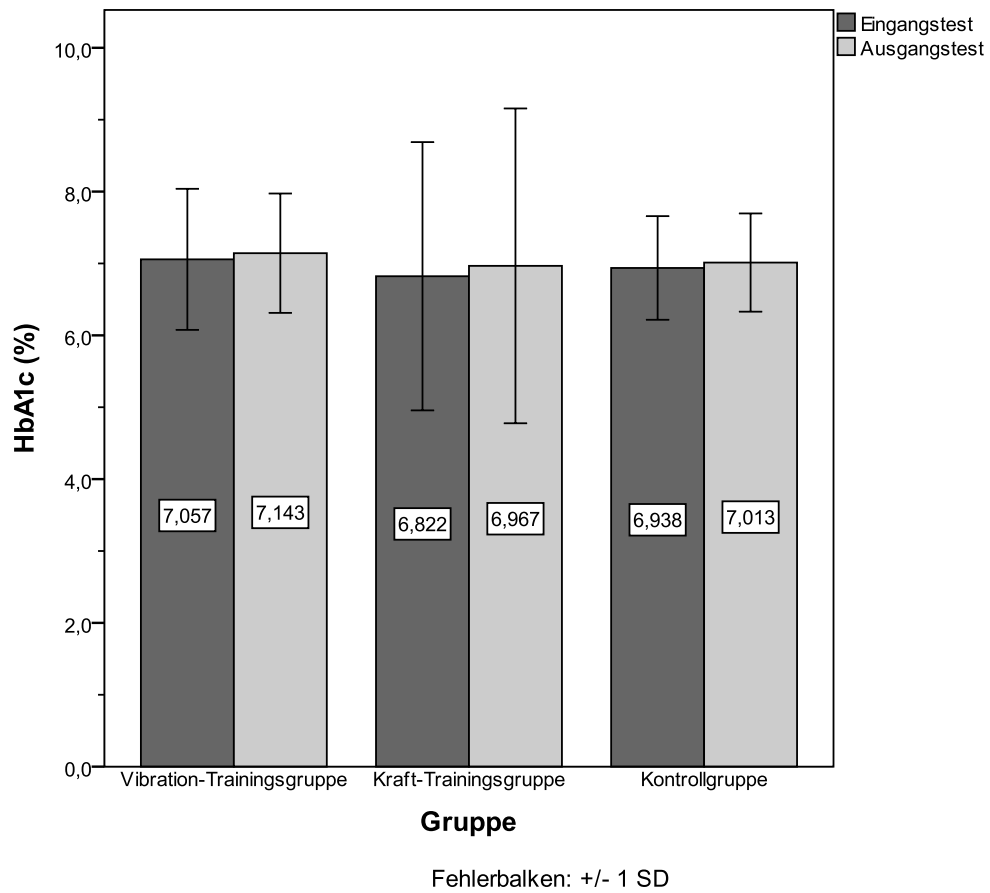


Abb. 16: HbA1c (%).

Mittelwert des HbA1c mit Standardabweichung bei Ein- und Ausgangstest.

Ergebnisse

Insgesamt zeigt sich jedoch nach Durchführung des t-Tests für gepaarte Stichproben in keiner der Gruppe ein signifikantes Ergebnis (Tab. 17).

Tab. 17: Veränderung des HbA1c bei Ein- und Ausgangstest In %.

Trainings- gruppe	n	Mittelwert \pm SD		Differenz AT - ET (95% KI)	p-Wert
		ET	AT		
Vibration	7	7,1 \pm 0,9	7,1 \pm 0,8	0,1 (-0,2; 0,3)	,407
Kraft	9	6,8 \pm 1,9	6,9 \pm 2,2	0,1 (-0,2; 0,5)	,311
Kontrolle	8	6,9 \pm 0,7	7,0 \pm 0,7	0,1 (-0,2; 0,4)	,554

Mittelwert des HbA1c (mg/dl) \pm Standardabweichung bei Ein und Ausgangstest, Differenz (mg/dl) zwischen Aus- und Eingangstest nicht signifikant. n: Probandenzahl, SD: Standardabweichung, ET: Eingangstest, AT: Ausgangstest, 95% KI: 95% Konfidenzintervall.

Bei Betrachtung der einzelnen Probanden zeigt sich bei 9 Teilnehmern eine Senkung des HbA1cs beim Ausgangstest im Vergleich zum Eingangstest: Proband 4, 13, 17 (Vibrations-Trainingsgruppe), 16, 19 (Kraft-Trainingsgruppe), 15, 22, 24, 28 (Kontrollgruppe)). Die ausgeprägteste Veränderung ist bei Proband 24 aus der Kontrollgruppe zu erkennen. Hier wurde eine Senkung des HbA1cs von 8,3 % auf 7,9 % erreicht (Abb. 17).

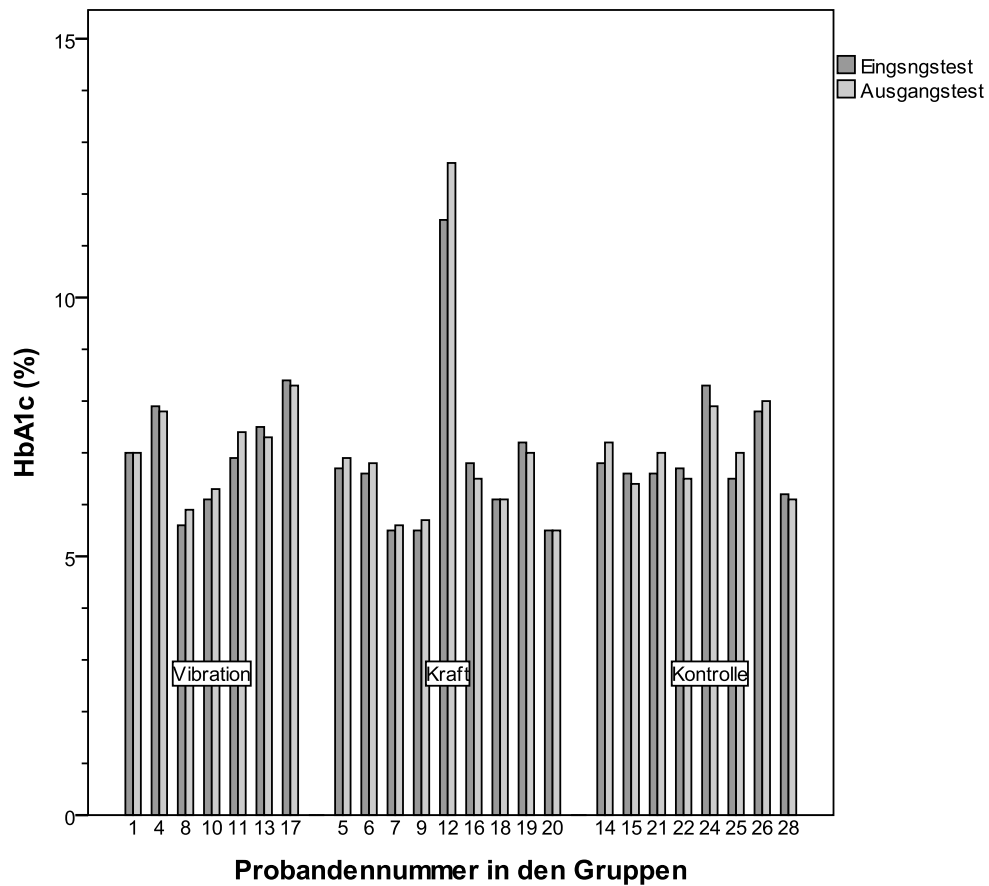


Abb. 17: HbA1c (%).

Mittelwerte der einzelnen Probanden bei Ein- und Ausgangstest.
 Vibration: Vibration-Trainingsgruppe, Kraft: Kraft-Trainingsgruppe,
 Kontrolle: Kontrollgruppe.

Entgegen einer Signifikanzerwartung beim Eingangstest ($p = 0,000$), konnte bei der Kovarianzanalyse zwischen den Trainingsgruppen bei einem F-Wert von 1,153 und einem p-Wert von 0,859 kein signifikanter Unterschied in der Veränderung des mittleren HbA1cs gezeigt werden (Tab. 18).

Ergebnisse

Tab. 18: HbA1c im Vergleich der Gruppen.

	Quadrat- summe	Freiheits- grade	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
HbA1c ET	43,522	1	43,522	387,964	,000*
Trainingsgruppe	0,034	2	0,017	0,153	,859
Fehler	2,244	20	0,112		

Kovarianzanalyse des HbA1c beim Ausgangstest unter Berücksichtigung der Eingangswerte. HbA1c ET: HbA1c am Eingangstest. Signifikanzniveau p , * = signifikantes Ergebnis.

4.2.3 OGTT

Zur Ermittlung der Glucoseverwertung wurde der OGTT bei 18 Probanden durchgeführt. Insulinpflichtige Probanden (N=6) wurden von der Untersuchung ausgeschlossen (Kapitel 3.3.3). Die Abbildungen 18, 19 und 20 stellen die Verläufe der mittleren Blutzuckerwerte für die Vibration-, Kraft- und Kontrollgruppe dar. Dabei ist für alle Gruppen eine Senkung der Kurve, die den Verlauf der einzelnen Blutzuckertests kennzeichnet, beim Aus- im Vergleich zum Eingangstest zu erkennen. Lediglich bei der Vibrations-Trainingsgruppe wurde bei der letzten Messung nach 120 Minuten ein Anstieg der Kurve ermittelt (Abb. 18, 19, 20).

Ergebnisse

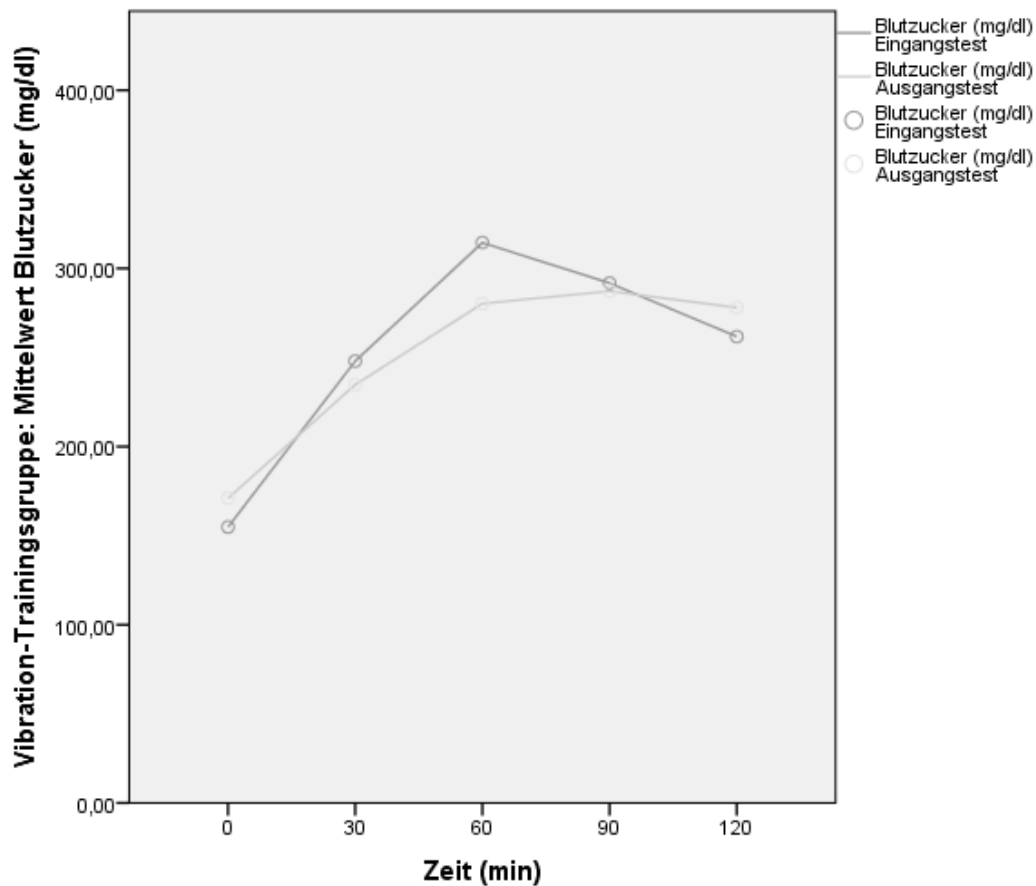


Abb. 18: Blutzucker (mg/dl) im Rahmen des OGTT. Mittelwerte der gemessenen Blutzuckerwerte nach 0, 30, 60, 90 und 120 Minuten in Abhängigkeit der Vibrations-Trainingsgruppe.

Abb. 18 zeigt, dass sich der Wert im Vergleich zum Ausgangswert nach 30 Minuten um fast 100 mg/dl erhöht hat. Das Maximum wurde sowohl beim Eingangs- als auch beim Ausgangstest nach 60 Minuten erreicht. Dieses liegt im Eingangstest über 300 mg/dl, im Ausgangstest kurz darunter. In beiden Tests fällt der Blutzucker danach wieder ab, wobei die Reduktion im Eingangstest stärker ausfällt. Die Fläche unter der Kurve beträgt 142 Einheiten im Eingangstest. Im Ausgangstest beträgt sie 137 Einheiten. Mit diesen Werten sind die Glukose-AUC unter den Kurven die größten unter allen Versuchsgruppen (Abb. 18).

Ergebnisse

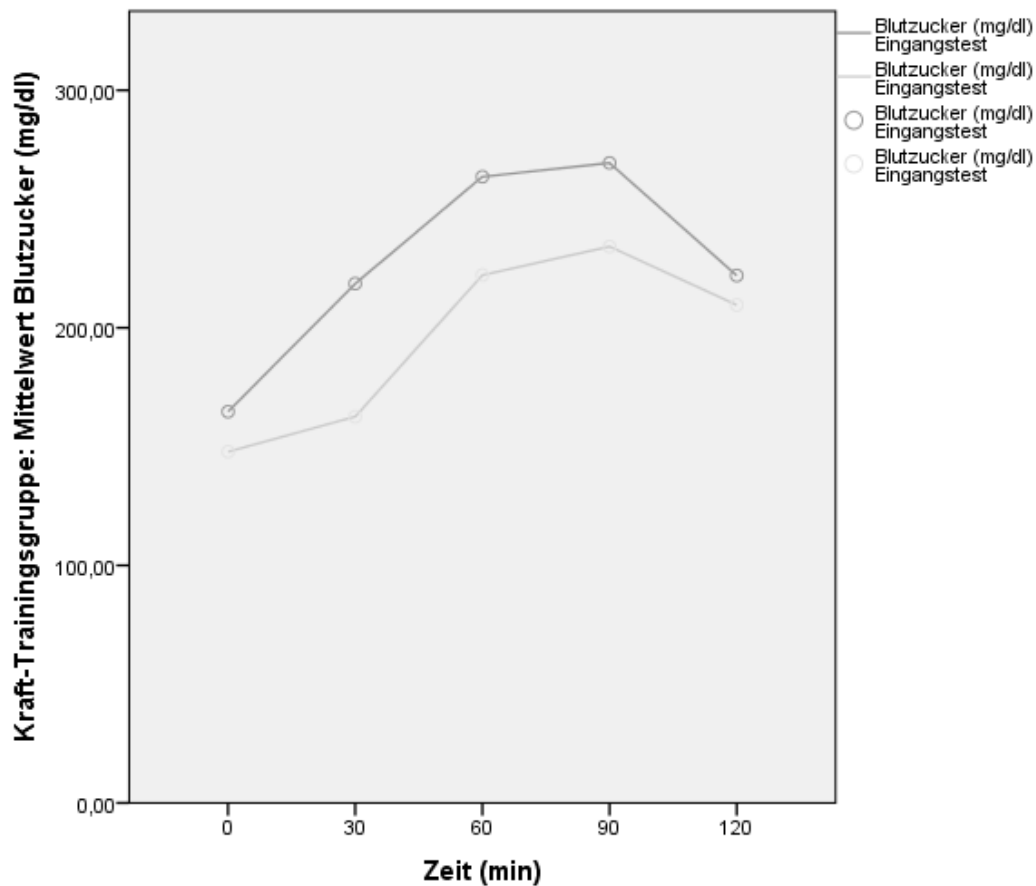


Abb. 19: Blutzucker (mg/dl) im Rahmen des OGTT. Mittelwerte der gemessenen Blutzuckerwerte nach 0, 30, 60, 90 und 120 Minuten in Abhängigkeit der Kraft-Trainingsgruppe.

In Abb. 19 erreichen beide Kurven ihr Maximum nach 90 Minuten. Dieses liegt im Eingangstest bei 269 mg/dl. Im Ausgangstest liegt dieses bei 234 mg/dl. Beide Kurven fallen nach dem Erreichen dieses Maximums wieder ab. Die Fläche unter der Kurve beträgt 126 Einheiten im Eingangstest und 106 Einheiten im Ausgangstest. Diese sind die geringsten Werte im Vergleich zu den anderen Versuchsgruppen (Abb. 19).

Ergebnisse

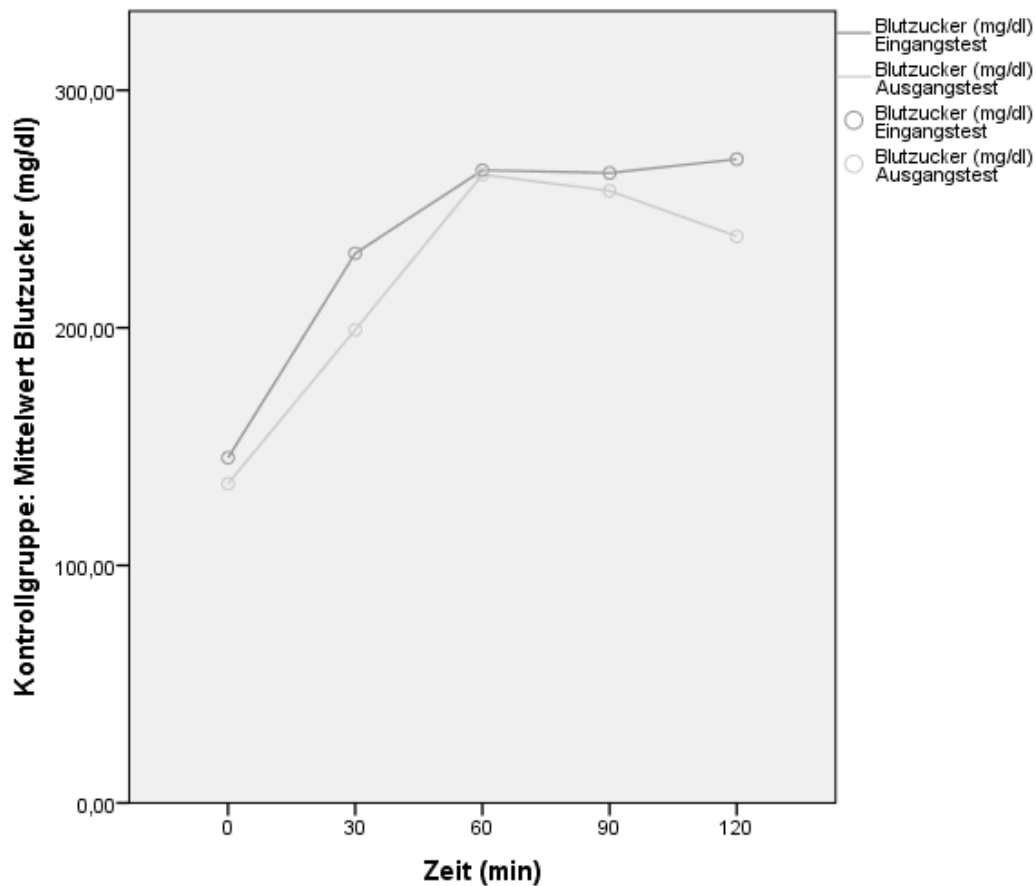


Abb. 20: Blutzucker (mg/dl) im Rahmen des OGTT. Mittelwerte der gemessenen Blutzuckerwerte nach 0, 30, 60, 90 und 120 Minuten in Abhängigkeit der Kontrollgruppe.

In Abb. 20 erreichen beide Kurven nach 60 Minuten das lokale Maximum mit etwa 265 mg/dl. Die Kurve des Ausgangstests fällt dann bis zum letzten Messzeitpunkt auf 239 mg/dl ab, während die Kurve des Eingangstests von 90 auf 120 Minuten noch einmal leicht auf 271 mg/dl ansteigt. Zum letzten Messzeitpunkt steigt die Kurve noch einmal auf 271 mg/dl an. Die Fläche unter der Kurve beträgt für den Eingangstest 130 Einheiten und ist damit annähernd so groß wie die des Ausgangstests mit 121 Einheiten.

Ergebnisse

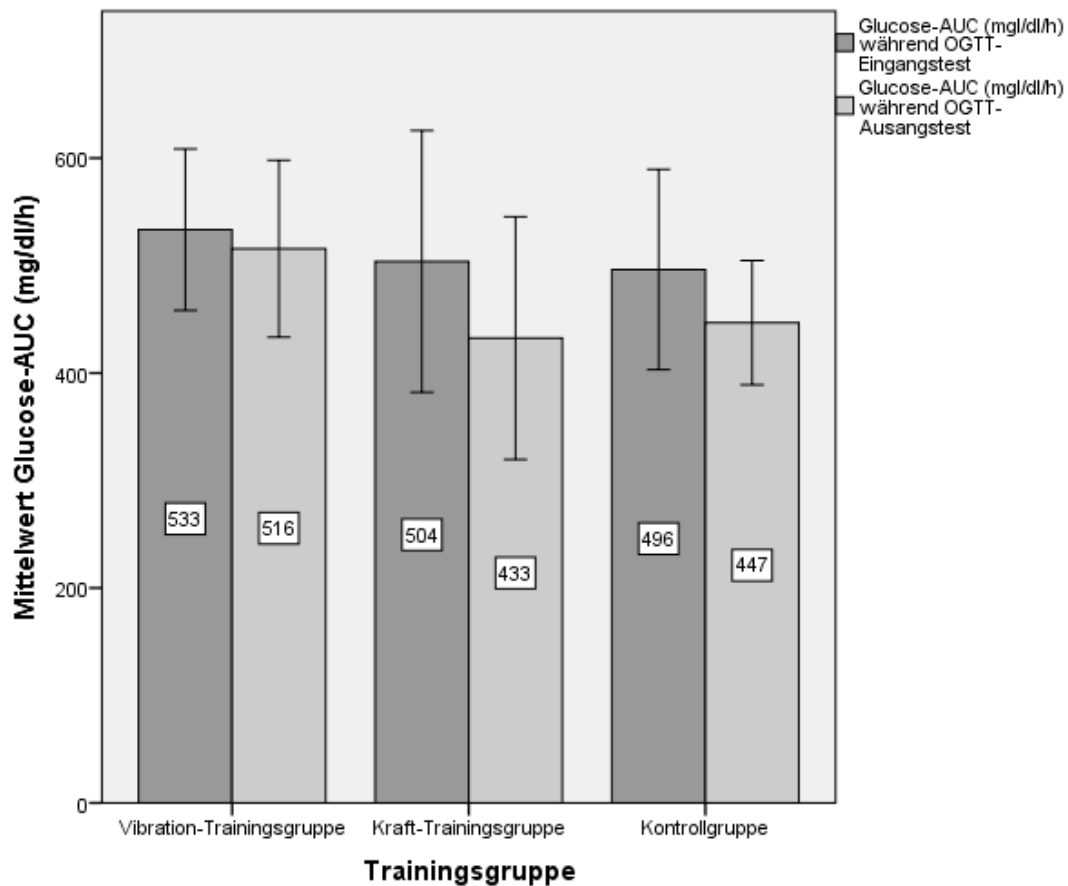


Abb. 21: Glucose-AUC im Rahmen des OGTT im Gruppenvergleich. Mittelwert der Glucose AUC mit Standardabweichung bei Ein- und Ausgangstest.

In der Vibrations-Trainingsgruppe fand sich beim Eingangstest mit 533 (± 47) mg/dl/h der im Gruppenvergleich höchste Mittelwert der Glucose-AUC (Abb. 21). Dieser konnte im Studienverlauf um 18 mg/dl/h (entsprechend -3,4 %) gesenkt werden. Die Kraft-Trainingsgruppe, die im Eingangstest mit einem Glucose-AUC-Wert von 504 (± 131) mg/dl/h startete, konnte den Mittelwert um 71 mg/dl/h (-14 %) senken, was einen statistisch signifikanten Rückgang darstellt ($p = 0,022$) (Tab. 19). Für die Kontrollgruppe ergab sich im Eingangstest eine Reduktion der Glucose-AUC-Werte von 496 mg/dl/h (± 100) um 49 mg/dl/h (-9,8 %).

Ergebnisse

Tab. 19: Veränderung der Glucose AUC bei Ein- und Ausgangstest.

Trainings- gruppe	n	Mittelwert \pm SD		Differenz AT – ET (95 % KI)	p-Wert
		ET	AT		
Vibration	4	533 \pm 47	515 \pm 52	-17,6 (-60; 95)	,522
Kraft	7	504 \pm 132	433 \pm 122	-71 (14,4; 128)	,022*
Kontrolle	7	496 \pm 101	447 \pm 63	-49 (-12,9; 112)	,101

Mittelwert der Glucose AUC (mg/dl) \pm Standardabweichung bei Ein und Ausgangstest, Differenz (mg/dl) zwischen Aus- und Eingangstest mit Signifikanzniveau p. * = signifikantes Ergebnis. n: Probandenzahl, SD: Standardabweichung, ET: Eingangstest, AT: Ausgangstest, 95% KI: 95% Konfidenzintervall.

Bei der überwiegenden Mehrzahl aller Probanden konnte eine Reduktion der Glucose-AUC-Werte im Vergleich zwischen Eingangs- und Ausgangstest festgestellt werden. Höhere AUC-Ausgangstestwerte ergaben sich dagegen für die Probanden 17, 20 und 28. Dies ist in der nachfolgenden Abbildung zusammengefasst (Abb. 22).

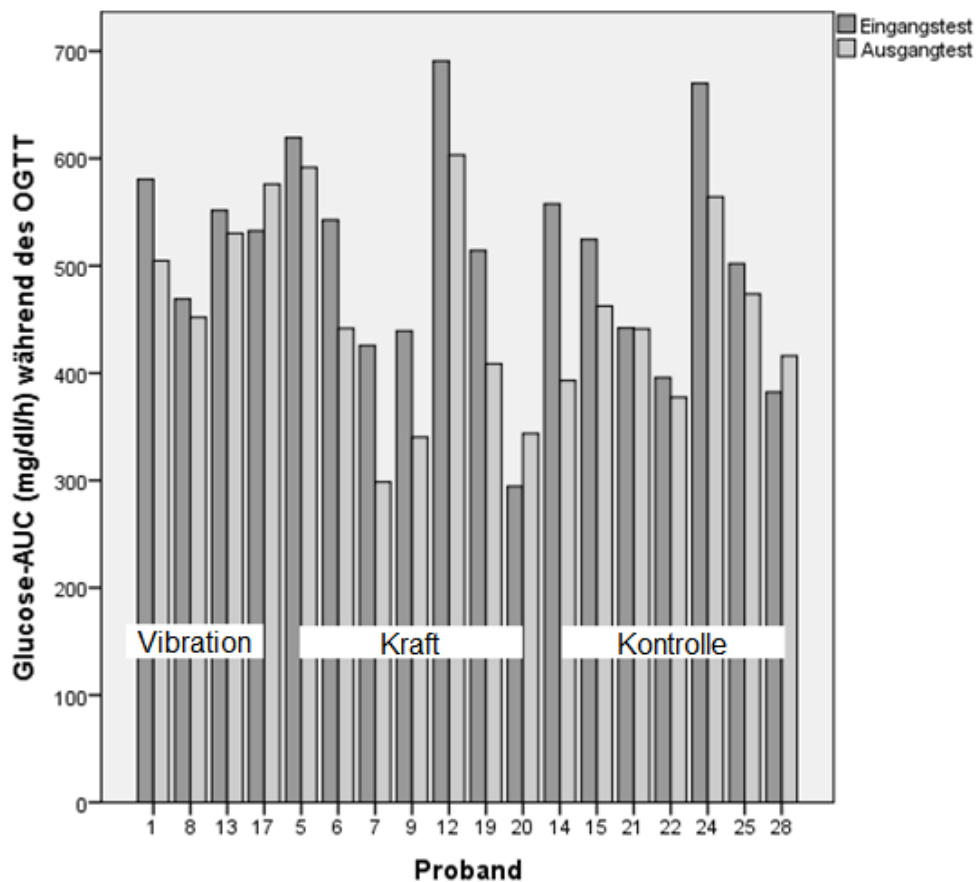


Abb. 22: Glucose-AUC im Rahmen des OGTT im Individualvergleich. Mittelwerte der einzelnen Probanden bei Ein- und Ausgangstest. Vibration: Vibration-Trainingsgruppe, Kraft: Kraft-Trainingsgruppe, Kontrolle: Kontrollgruppe.

Zur Ermittlung gruppenspezifischer Unterschiede wurde eine Kovarianzanalyse der Glucose-AUC-Werte vorgenommen. Jedoch zeigten sich bei einem F-Wert von 1,736 und einem Signifikanzniveau von 0,212 keine signifikanten Veränderungen des Mittelwertes. Da der p-Wert des AUC ET jedoch einen Wert von 0,000 aufweist, ist der AUC-Wert des Ausgangstests hauptsächlich durch den Glucose-AUC-Wert des Eingangstests erklärbar (Tab. 20).

Tab. 20: Glucose AUC im Vergleich der Gruppen.

	Quadrat- summe	Freiheits- grade	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
AUC ET	80729,738	1	80729,738	28,085	,000*
Trainingsgruppe	9981,709	2	4990,854	1,736	,212
Fehler	40243,047	14	2874,503		

Kovarianzanalyse der Glucose AUC beim Ausgangstest unter Berücksichtigung der Eingangswerte. Glucose AUC ET: Glucose AUC am Eingangstest. Signifikanzniveau p, * = signifikantes Ergebnis.

4.3 Maximalkraft

Neben den Stoffwechselfparametern wurde mit der Studie die Auswirkung des Trainings auf die Maximalkraft der Probanden untersucht. Dabei ergaben sich folgende Ergebnisse.

4.3.1 LWS/BWS Flexion

Für die Bauchmuskulatur konnte im Vergleich der Mittelwerte in allen Gruppen eine Verbesserung der Maximalkraftwerte zwischen Ein- und Ausgangstest festgestellt werden. Dabei war der Kraftzuwachs in den beiden Trainingsgruppen größer als in der Kontrollgruppe (Abb. 23).

Ergebnisse

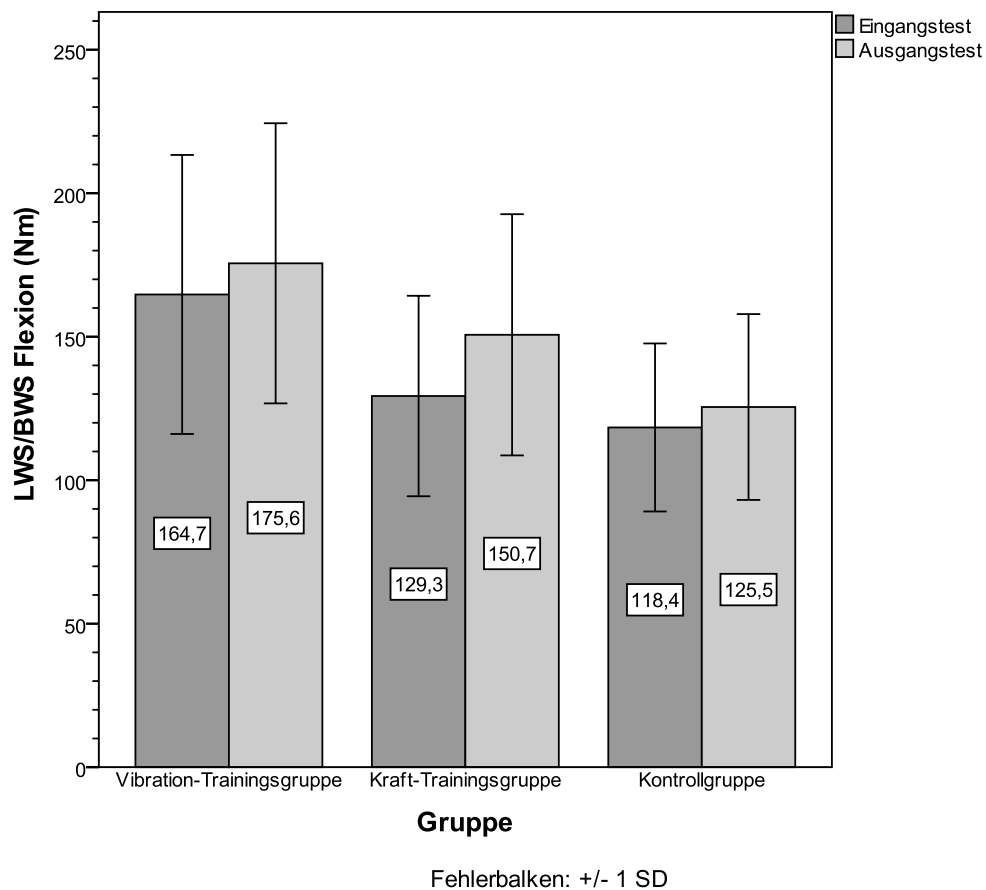


Abb. 23: LWS/BWS Flexion (Nm).

Mittelwert der LWS/BWS Flexion mit Standardabweichung bei Ein- und Ausgangstest.

Bei Probanden der Vibrations-Trainingsgruppe wurde im Ausgangstest eine signifikante Steigerung der mittleren Kraftzunahme um 11 Nm festgestellt. Für die Kraft-Trainingsgruppe ergab sich ein noch größerer, jedoch nicht signifikanter Anstieg der mittleren Maximalkraft um 21 Nm. Die Kontrollgruppe startete mit dem geringsten Eingangswert von 118 (\pm 29) Nm und verzeichnete im Ausgangstest immerhin einen signifikanten mittleren Kraftzuwachs von 7 Nm (Tab. 21).

Ergebnisse

Tab. 21: Veränderung der LWS/BWS Flexion (Nm) bei Ein- und Ausgangstest.

Trainings- gruppe	n	Mittelwert \pm SD		Differenz AT - ET (95% KI)	p-Wert
		ET	AT		
Vibration	7	165 \pm 49	176 \pm 49	10,9 (3,3; 18,5)	,013*
Kraft	9	129 \pm 35	151 \pm 42	21 (-9,7; 52)	,152
Kontrolle	8	118 \pm 29	125 \pm 32	7,1 (0,4; 13,8)	,039*

Mittelwert des LWS/BWS Flexion (Nm) \pm Standardabweichung bei Ein und Ausgangstest, Differenz (Nm) zwischen Aus- und Eingangstest mit Signifikanzniveau p. * = signifikantes Ergebnis. n: Probandenzahl, SD: Standardabweichung, ET: Eingangstest, AT: Ausgangstest, 95% KI: 95% Konfidenzintervall.

In Abbildung 24 wird die Veränderung des Maximalkraftwertes für die LWS/BWS Flexion der einzelnen Probanden in den jeweiligen Gruppen dargestellt. Einen Anstieg der maximalen Kraft im Ausgangstest gegenüber dem Eingangstest konnte bei sechs Probanden (1, 4, 8, 10, 11 und 17) aus der Vibrations-Trainingsgruppe, sechs Probanden (5, 7, 9, 12, 18 und 20) aus der Kraft-Trainingsgruppe sowie sieben Teilnehmern (14, 15, 21, 22, 24, 25 und 28) aus der Kontrollgruppe beobachtet werden. Dabei ist der Maximalkraftanstieg bei Proband 7 aus der Kraft-Trainingsgruppe am größten (von 108 auf 233 Nm um 116 %) (Abb. 24).

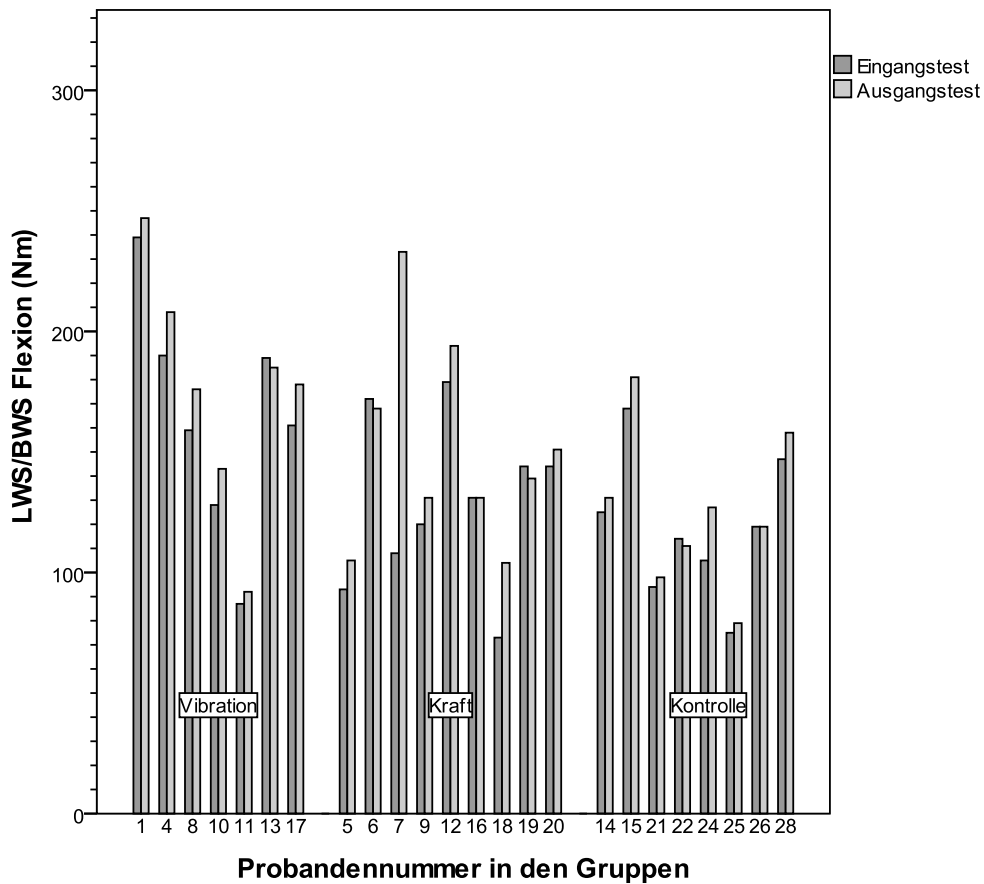


Abb. 24: LWS/BWS Flexion (Nm).
 Mittelwerte der einzelnen Probanden bei Ein- und Ausgangstest.
 Vibration: Vibration-Trainingsgruppe, Kraft: Kraft-Trainingsgruppe,
 Kontrolle: Kontrollgruppe.

In der Kovarianzanalyse konnte im Vergleich der Gruppen mit einem F-Wert von 0,763 und einem p-Wert von 0,477 kein signifikanter Unterschied in der Veränderung des Kraftzuwachses der Bauchmuskulatur während der 12-wöchigen Trainingszeit gezeigt werden (Tab. 22).

Ergebnisse

Tab. 22: LWS/BWS Flexion im Vergleich der Gruppen.

	Quadrat- summe	Freiheits- grade	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
LWS/BWS Flexion ET	22389,244	1	22389,244	33,481	,000*
Trainingsgruppe	1027,240	2	513,620	0,768	,477
Fehler	13374,470	20	668,723		

Kovarianzanalyse der LWS/BWS Flexion beim Ausgangstest unter Berücksichtigung der Eingangswerte. LWS/BWS Flexion ET: LWS/BWS Flexion am Eingangstest. Signifikanzniveau p , * = signifikantes Ergebnis.

4.3.2 LWS/BWS Extension

Für die LWS/BWS Extension konnte im Mittelwertvergleich in der Vibration- und in der Kraft-Trainingsgruppe ein Anstieg der Maximalkraft erzielt werden (Abb. 25).

Ergebnisse

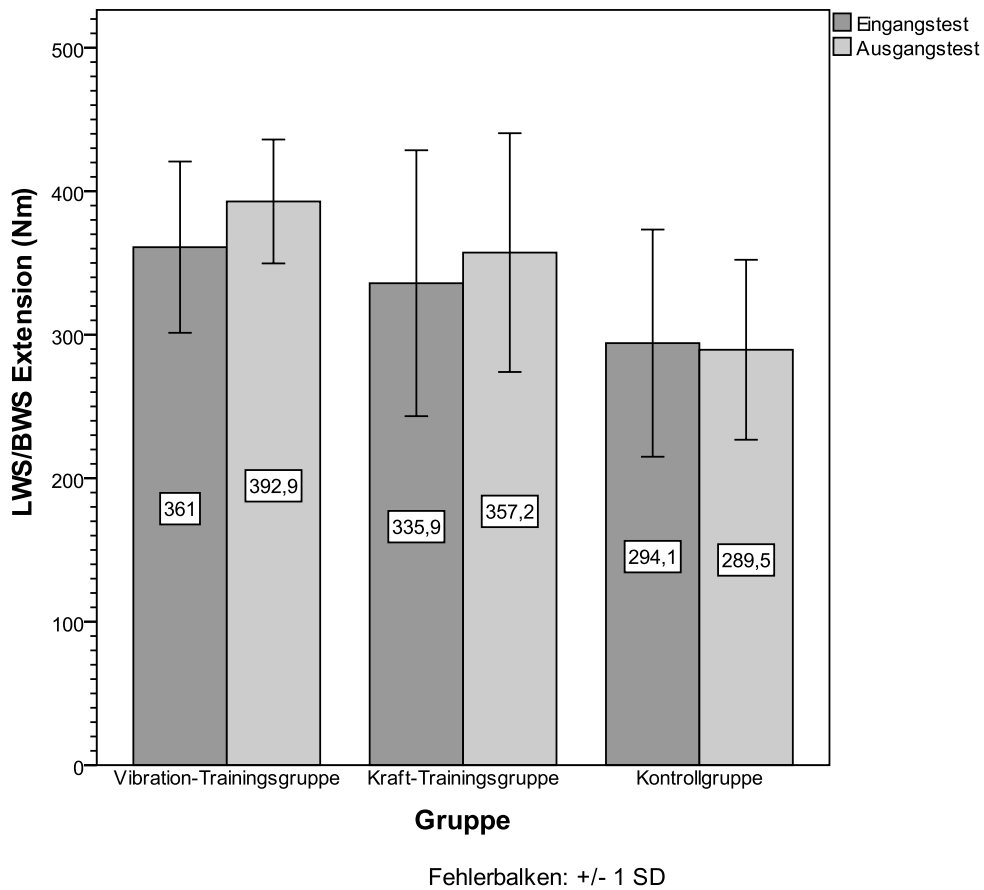


Abb. 25: LWS/BWS Extension (Nm).

Mittelwert der LWS/BWS Extension mit Standardabweichung bei Ein- und Ausgangstest.

Dabei zeigte sich in der Vibrations-Trainingsgruppe mit 32 Nm um 8,8% ein größerer Kraftzuwachs als in der Kraft-Trainingsgruppe mit 21 Nm um 6,3 %. Die Einzelvergleiche zwischen Ein- und Ausgangstest in Form von t-Tests mit gepaarten Stichproben konnten jedoch für keine der Gruppen ein signifikantes Ergebnis ermitteln (Tab. 23).

Ergebnisse

Tab. 23: Veränderung der LWS/BWS Extension (Nm) bei Ein- und Ausgangstest.

Trainings- gruppe	n	Mittelwert \pm SD		Differenz AT - ET (95% KI)	p-Wert
		ET	AT		
Vibration	7	361 \pm 60	393 \pm 43	32 (-6,1; 70)	,086
Kraft	9	336 \pm 93	357 \pm 83	21 (-0,5; 43)	,055
Kontrolle	8	294 \pm 79	290 \pm 63	-4,6 (-29; 19,3)	,661

Mittelwert des LWS/BWS Extension (Nm) \pm Standardabweichung bei Ein und Ausgangstest, Differenz (Nm) zwischen Aus- und Eingangstest nicht signifikant. n: Probandenzahl, SD: Standardabweichung, ET: Eingangstest, AT: Ausgangstest, 95% KI: 95% Konfidenzintervall.

Abbildung 26 zeigt die Werte für die LWS/BWS Extension aller einzelnen Probanden in den jeweiligen Gruppen. Bei 16 Probanden ist ein Anstieg der maximalen Kraft beim Ausgangstest im Vergleich zum Eingangstest sichtbar. Davon waren sechs Probanden der Vibrations-Trainingsgruppe (4, 8, 10, 11, 13, 17), sieben der Kraft-Trainingsgruppe (7, 9, 12, 16, 18, 19, 20) und vier der Kontrollgruppe (21, 24, 26, 28) zugeteilt. Den maximalsten Kraftzuwachs um 75 Nm von 199 auf 274 mg/dl (38 %) erzielte Proband 9 aus der Kraft-Trainingsgruppe.

Ergebnisse

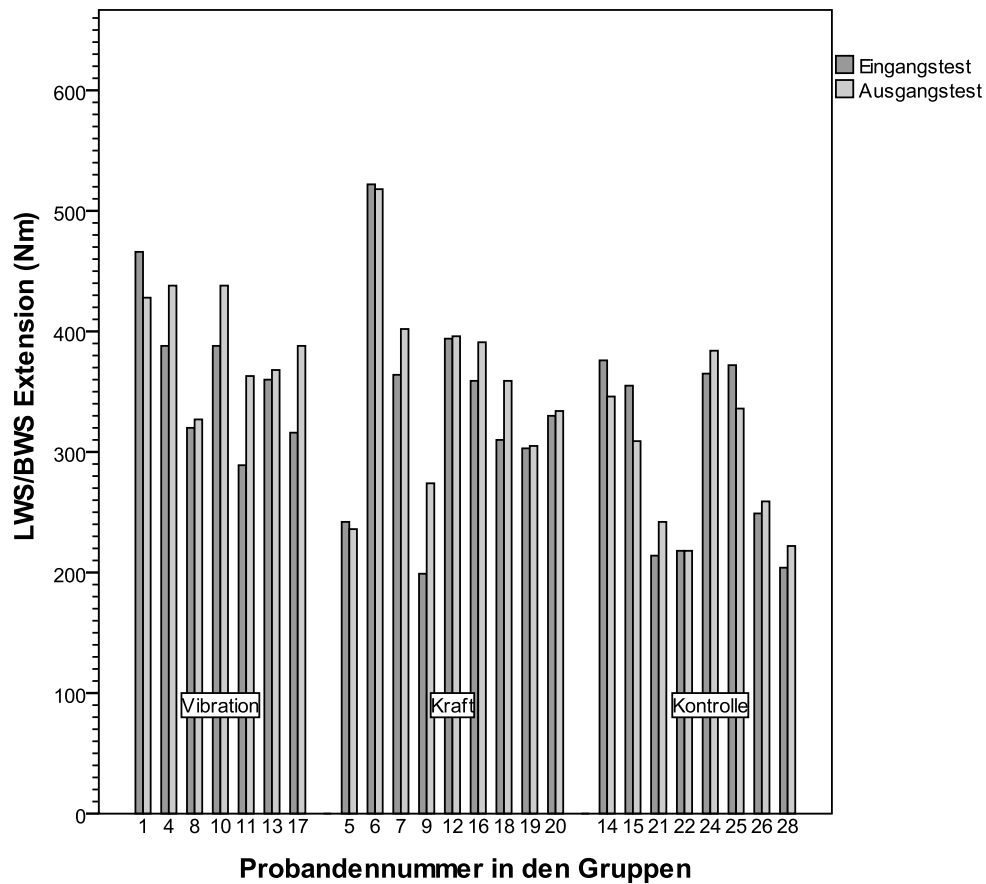


Abb. 26: LWS/BWS Extension (Nm).

Mittelwerte der einzelnen Probanden bei Ein- und Ausgangstest.
Vibration: Vibration-Trainingsgruppe, Kraft: Kraft-Trainingsgruppe,
Kontrolle: Kontrollgruppe.

In der Kovarianzanalyse zwischen den Gruppen konnte in der Veränderung der Maximalkraft zwischen Ein- und Ausgangstest ein signifikanter Unterschied ermittelt werden (F-Wert: 6,354 und p-Wert: 0,007). Dabei sagt der Maximalkraftwert des Eingangstests mit einem p-Wert von 0,000 signifikant den Kraftwert des Ausgangstests vorher (Tab. 24).

Tab. 24: LWS/BWS Extension im Vergleich der Gruppen.

	Quadrat- summe	Freiheits- grade	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
LWS/BWS Extension ET	78999,547	1	78999,547	104,698	0,000*
Trainingsgruppe	9588,306	2	4794,153	6,354	0,007*
Fehler	15090,865	20	754,543		

Kovarianzanalyse der LWS/BWS Extension beim Ausgangstest unter Berücksichtigung der Eingangswerte. LWS/BWS Extension ET: LWS/BWS Extension am Eingangstest. Signifikanzniveau p, * = signifikantes Ergebnis.

4.3.3 Schulterstabilisatoren

Im Mittelwertvergleich für die Maximalkraft beim Ein- und Ausgangstest konnte für die Brustmuskulatur in allen Gruppen ein Anstieg der maximalen Kraft beobachtet werden (Abb. 27).

Ergebnisse

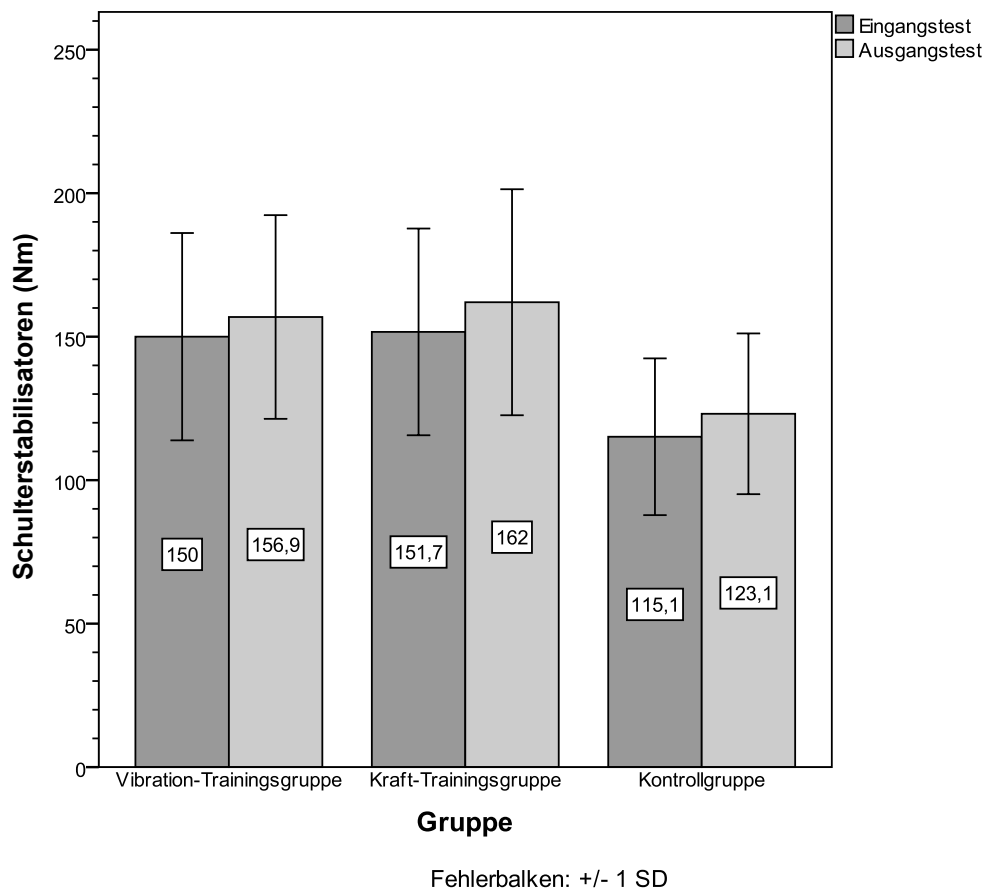


Abb. 27: Schulterstabilisatoren (Nm).

Mittelwert der Schulterstabilisatoren mit Standardabweichung bei Ein- und Ausgangstest.

Am deutlichsten ist dabei die Verbesserung in der Kraft-Trainingsgruppe zu erkennen. Hier steigerten sich die Probanden von 152 (± 36) auf 162 (± 39) Nm um 6,6%. Mit einem niedrigeren Eingangswert von 150 (± 36) Nm steigerten sich die Probanden der Vibrations-Trainingsgruppe um 4,7 % auf 157 (± 36) Nm. Ein größerer Anstieg der Maximalkraft zeigte sich hingegen in der Kontrollgruppe (um 7% von 115 ($\pm 27,3$) auf 123 (± 28) Nm). Mit Durchführung des t-Tests für gepaarte Stichproben konnte jedoch nur für die Kraft-Trainingsgruppe ein signifikantes Ergebnis ermittelt werden (Tab. 25).

Ergebnisse

Tab. 25: Veränderung der Schulterstabilisatoren (Nm) bei Ein- und Ausgangstest.

Trainings- gruppe	n	Mittelwert \pm SD		Differenz AT - ET (95% KI)	p-Wert
		ET	AT		
Vibration	7	150 \pm 36	157 \pm 36	6,9 (-0,9; 14,6)	0,073
Kraft	9	152 \pm 36	162 \pm 39	10,3 (3,9; 3,7)	0,006*
Kontrolle	8	115 \pm 27	123 \pm 28	8,1 (-0,9; 16,9)	0,072

Mittelwert der Schulterstabilisatoren (Nm) \pm Standardabweichung bei Ein und Ausgangstest, Differenz (Nm) zwischen Aus- und Eingangstest mit Signifikanzniveau p. * = signifikantes Ergebnis. n: Probandenzahl, SD: Standardabweichung, ET: Eingangstest, AT: Ausgangstest, 95% KI: 95% Konfidenzintervall.

Für den Einzelvergleich der Probanden ist fast bei allen Studienteilnehmern ein Kraftzuwachs der Brustmuskulatur zu erkennen. Lediglich Proband 4 (Vibrations-Trainingsgruppe) sowie 14 und 22 (Kontrollgruppe) zeigten keine Verbesserung. Den größten Maximalkraftanstieg konnte bei Proband 28 aus der Kontrollgruppe beobachtet werden (von 115 auf 141 Nm um 23 %) (Abb. 28).

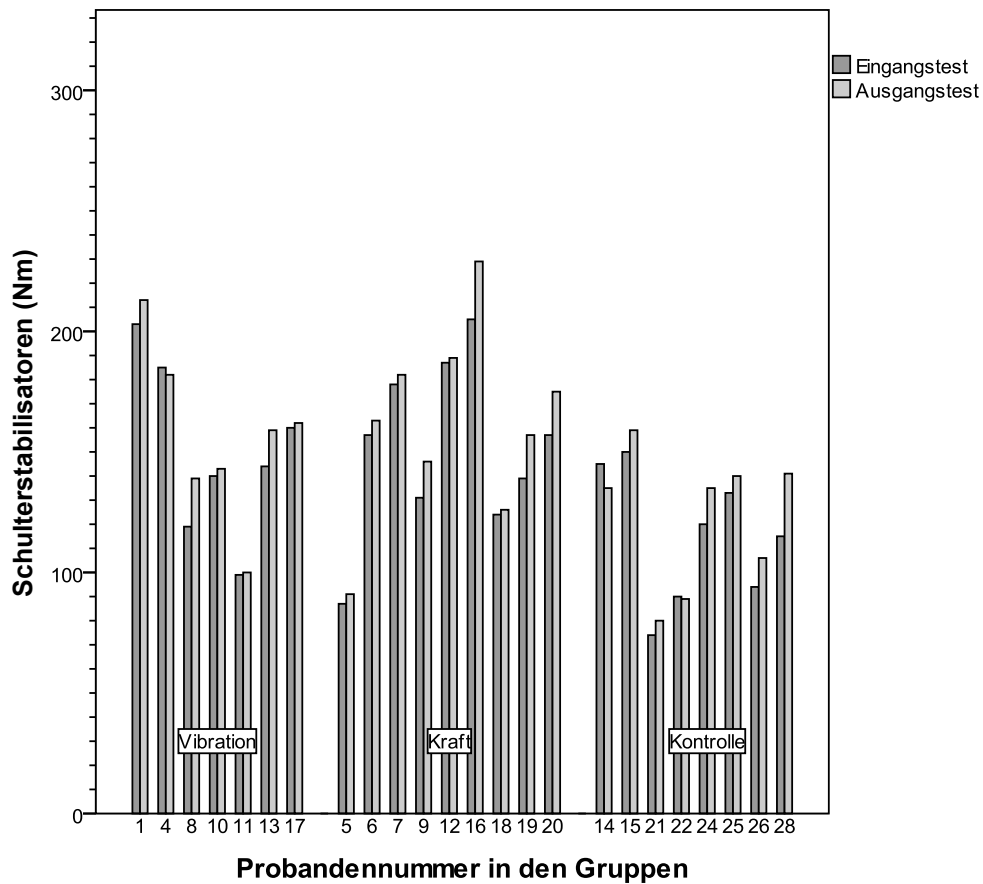


Abb. 28: Schulterstabilisatoren (Nm).
 Mittelwerte der einzelnen Probanden bei Ein- und Ausgangstest.
 Vibration: Vibration-Trainingsgruppe, Kraft: Kraft-Trainingsgruppe,
 Kontrolle: Kontrollgruppe.

Bei einem F-Wert von 0,274 und einem p-Wert von 0,763 konnte mit der Kovarianzanalyse für die Veränderung der Maximalkraft in der Brustmuskulatur kein signifikanter Unterschied zwischen Ein- und Ausgangstest bei den einzelnen Trainingsgruppen ermittelt werden (Tab. 26).

Ergebnisse

Tab. 26: Schulterstabilisatoren im Vergleich der Gruppen.

	Quadrat- summe	Freiheits- grade	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
LWS/BWS Extension ET	23673,500	1	23673,500	265,661	0,000*
Trainingsgruppe	48,774	2	24,387	0,274	0,763
Fehler	1782,232	20	89,112		

Kovarianzanalyse der Schulterstabilistoren beim Ausgangstest unter Berücksichtigung der Eingangswerte. Schulterstabilisatoren ET: Schulterstabilisatoren am Eingangstest. Signifikanzniveau p, * = signifikantes Ergebnis.

4.3.4 Knieextension

Für die Knieextension kann im Mittelwertvergleich der größte Kraftanstieg in der Vibrations-Trainingsgruppe beobachtet werden (Abb. 29).

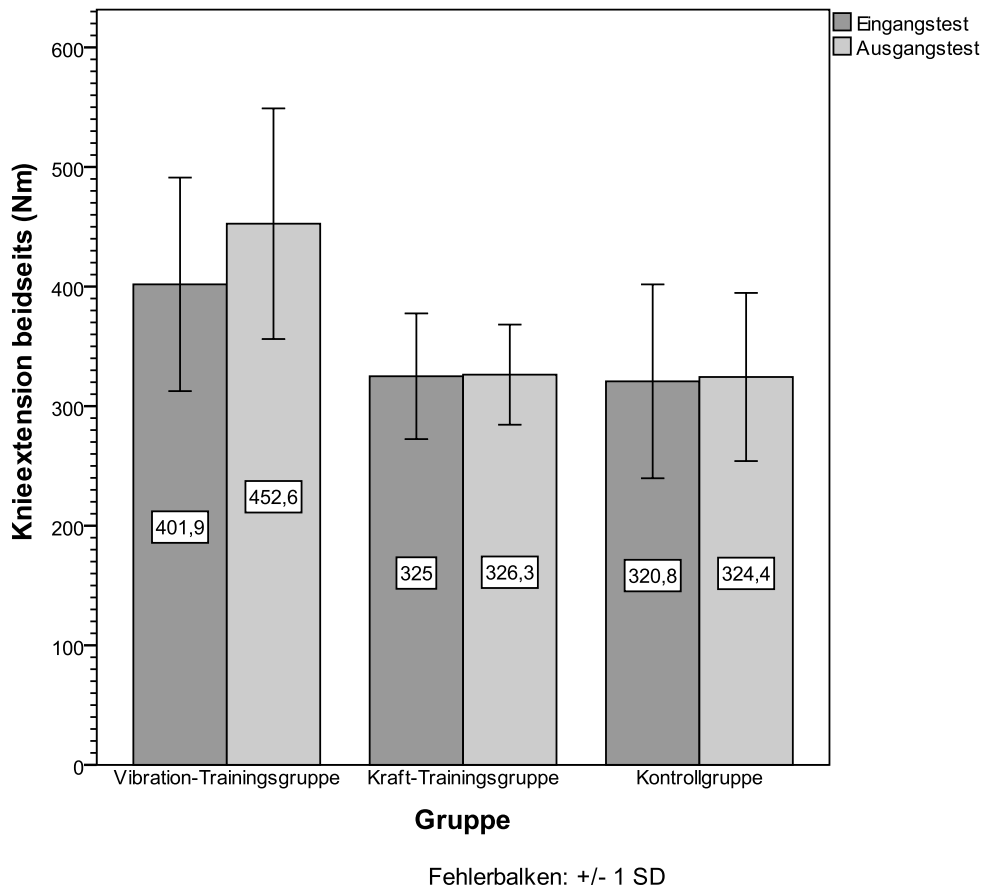


Abb. 29: Knieextension (Nm)
Mittelwert der Knieextension mit Standardabweichung bei Ein- und Ausgangstest.

Dabei erreichten die Probanden aus dem Vibration-Training einen mittleren Kraftanstieg um 12,7 % (51 Nm von 401,9 ($\pm 89,3$) auf 452,6 ($\pm 96,4$)). Der Kraftzuwachs in den anderen beiden Gruppen war weitaus geringer. Mit einer Steigerung um 0,3 % in der Kraft-Trainingsgruppe ist die Maximalkraft im Vergleich zwischen Ein- und Ausgangstest sogar geringfügig niedriger als in der Kontrollgruppe (Steigerung um 0,9 %). Nach Durchführung des t-Tests für

Ergebnisse

gepaarte Stichproben konnte in der Vibrations-Trainingsgruppe die Signifikanz der Ergebnisse ermittelt werden (Tab. 27).

Tab. 27: Veränderung der Knieextension (Nm) bei Ein- und Ausgangstest.

Trainings- gruppe	n	Mittelwert \pm SD		Differenz AT - ET (95% KI)	p-Wert
		ET	AT		
Vibration	7	402 \pm 89	453 \pm 96	51 (18,9; 83)	0,008*
Kraft	9	325 \pm 53	326 \pm 42	1,32 (-26; 29)	0,913
Kontrolle	8	321 \pm 81	324 \pm 70	3,63 (-18,3; 26)	0,71

Mittelwert des Knieextension (Nm) \pm Standardabweichung bei Ein und Ausgangstest, Differenz (Nm) zwischen Aus- und Eingangstest mit Signifikanzniveau p. * = signifikantes Ergebnis. n: Probandenzahl, SD: Standardabweichung, ET: Eingangstest, AT: Ausgangstest, 95% KI: 95% Konfidenzintervall.

Bei Betrachtung der einzelnen Probanden in ihren Gruppen konnte bei allen Teilnehmern aus der Vibrations-Trainingsgruppe ein Anstieg der Maximalkraft beobachtet werden. Dabei zeigte sich bei Proband 10 der insgesamt größte Kraftzuwachs um 102 Nm (28 %) von 362 auf 464 Nm. In den anderen beiden Gruppen konnten folgende Probanden ihre Maximalkraft verbessern: 6, 7, 9, 12 und 18 aus der Kraft-Trainingsgruppe sowie 22, 24, 26, und 28 aus der Kontrollgruppe (Abb. 30).

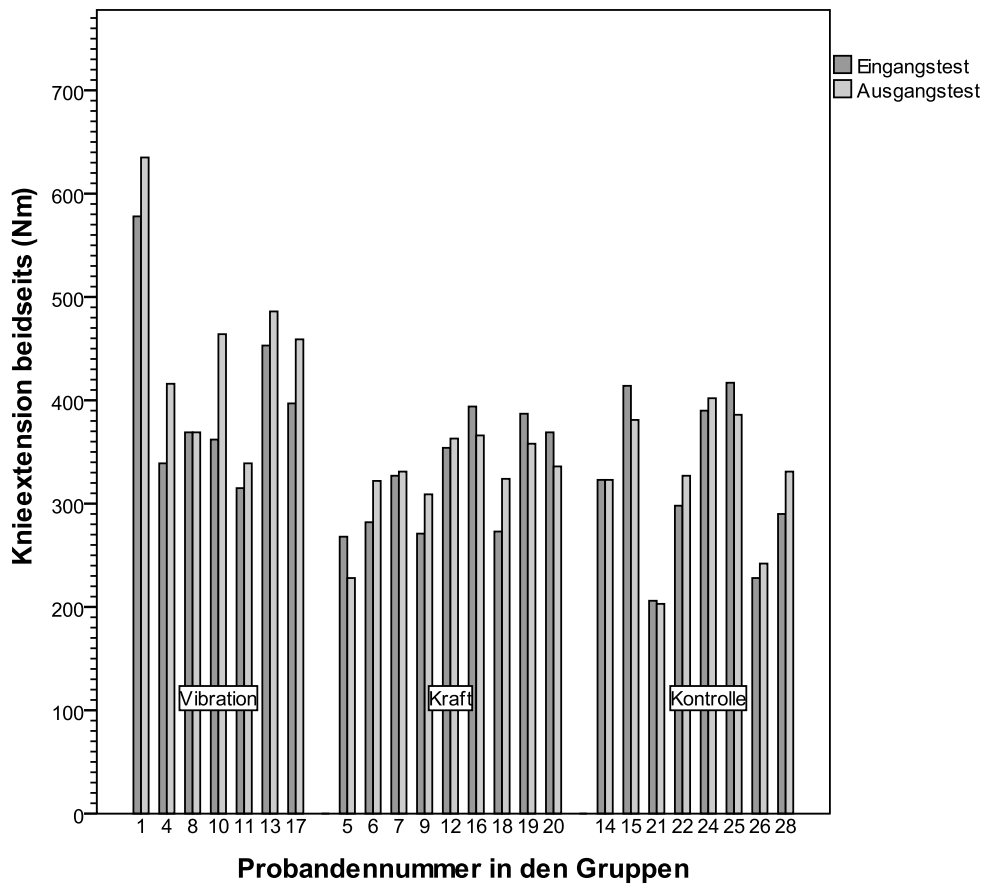


Abb. 30: Knieextension (Nm).
 Mittelwerte der einzelnen Probanden bei Ein- und Ausgangstest.
 Vibration: Vibration-Trainingsgruppe, Kraft: Kraft-Trainingsgruppe,
 Kontrolle: Kontrollgruppe.

Mit einem F-Wert von 7,155 und einem p-Wert von 0,005 zeigt sich in der Kovarianzanalyse der Knieextension zwischen den Trainingsgruppen ein signifikanter Unterschied in der Veränderung des Mittelwertes während der 12-wöchigen Trainingszeit. Mit dem p-Wert des Eingangstestes ($p=0,000$) ist der Knieextensions-Wert des Ausgangstestes jedoch auch durch den Knieextensions-Wert des Eingangstestes erklärbar (Tab. 28).

Ergebnisse

Tab. 28: Knieextension im Vergleich der Gruppen.

	Quadrat- summe	Freiheits- grade	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
Knieextension beidseits ET	84889,256	1	84889,256	86,931	0,000*
Trainingsgrup- pe	13973,058	2	6986,529	7,155	0,005*
Fehler	19530,334	20	976,517		

Kovarianzanalyse der Knieextension beim Ausgangstest unter Berücksichtigung der Eingangswerte. Knieextension ET: Knieextension am Eingangstest. Signifikanzniveau p, * = signifikantes Ergebnis.

4.3.5 Knieflexion

Für die Knieflexion ergibt sich im Vergleich der Mittelwerte in allen Gruppen ein Anstieg der Maximalkraft für die Knieflexion (Abb. 31).

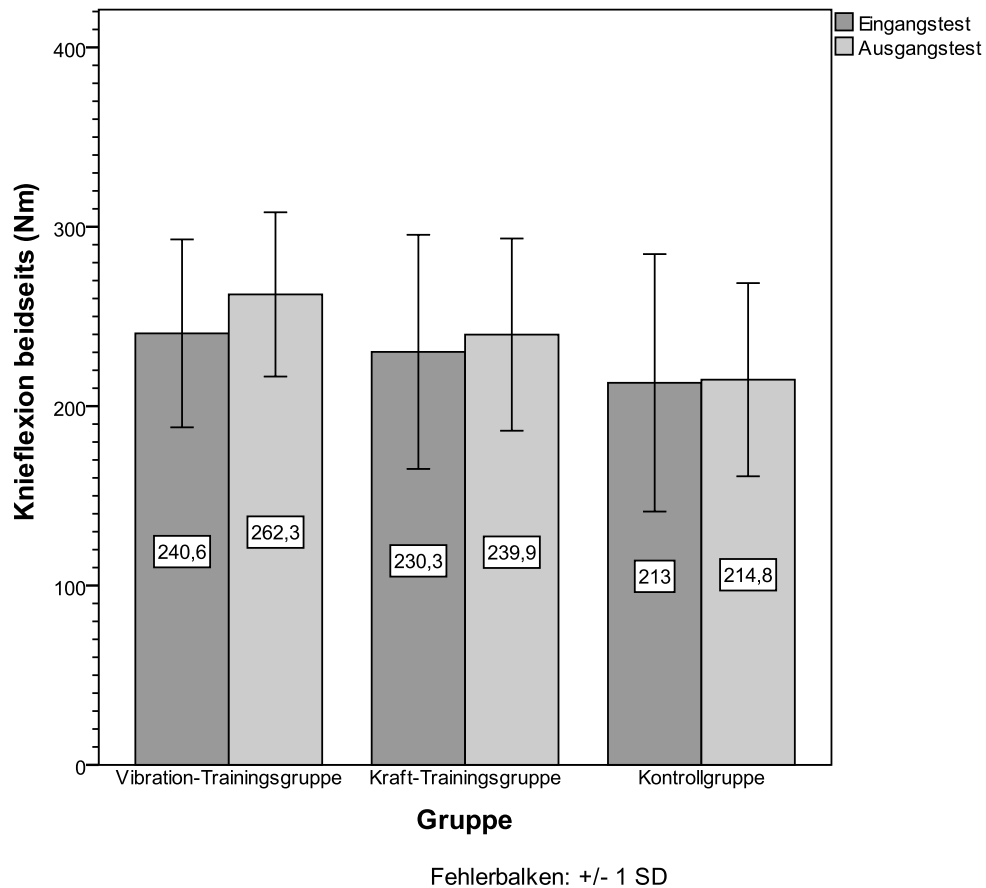


Abb. 31: Knieflexion (Nm).

Mittelwert der Knieflexion mit Standardabweichung bei Ein- und Ausgangstest.

Insgesamt war der Kraftzuwachs in den Trainingsgruppen größer als in der Kontrollgruppe. Hier steigerte sich die Vibration-Trainingsgruppe im Mittel jedoch um 8,7 % (21 Nm von 241 Nm auf 262 Nm). Im Gegensatz dazu war der Kraftzuwachs in der Krafttrainings-Gruppe mit 4,4 % (10 Nm von 230 Nm auf 240 Nm) jedoch geringer. Nach dem t-Test für gepaarte Stichproben zeigte sich mit einem p-Wert von 0,031 nur für die Vibrations-Trainingsgruppe ein signifikantes Ergebnis (Tab. 29).

Ergebnisse

Tab. 29: Veränderung der Knieflexion (Nm) bei Ein- und Ausgangstest.

Trainings- gruppe	n	Mittelwert \pm SD		Differenz AT - ET (95% KI)	p-Wert
		ET	AT		
Vibration	7	241 \pm 52	262 \pm 46	22 (2,71; 28)	0,031*
Kraft	9	230 \pm 65	240 \pm 54	9,61 (-10,8; 30)	0,302
Kontrolle	8	108 \pm 31	105 \pm 25	1,82 (-27; 30)	0,889

Mittelwert der Knieflexion (Nm) \pm Standardabweichung bei Ein und Ausgangstest, Differenz (Nm) zwischen Aus- und Eingangstest mit Signifikanzniveau p. * = signifikantes Ergebnis. n: Probandenzahl, SD: Standardabweichung, ET: Eingangstest, AT: Ausgangstest, 95% KI: 95% Konfidenzintervall.

Im Einzelvergleich konnte für folgende Teilnehmer ein Anstieg der maximalen Kraft für die Knieflexoren ermittelt werden: 1, 4, 8, 10, 11, 13 (Vibrations-Trainingsgruppe), 5, 6, 7, 9, 16, 18, 20 (Kraft-Trainingsgruppe), 14, 21, 22, 26, 28 (Kontrollgruppe). Den größten Kraftzuwachs hatte Proband 13 aus der Vibrations-Trainingsgruppe. Er steigerte sich von 175 auf 232 Nm um insgesamt 33 % (Abb. 32).

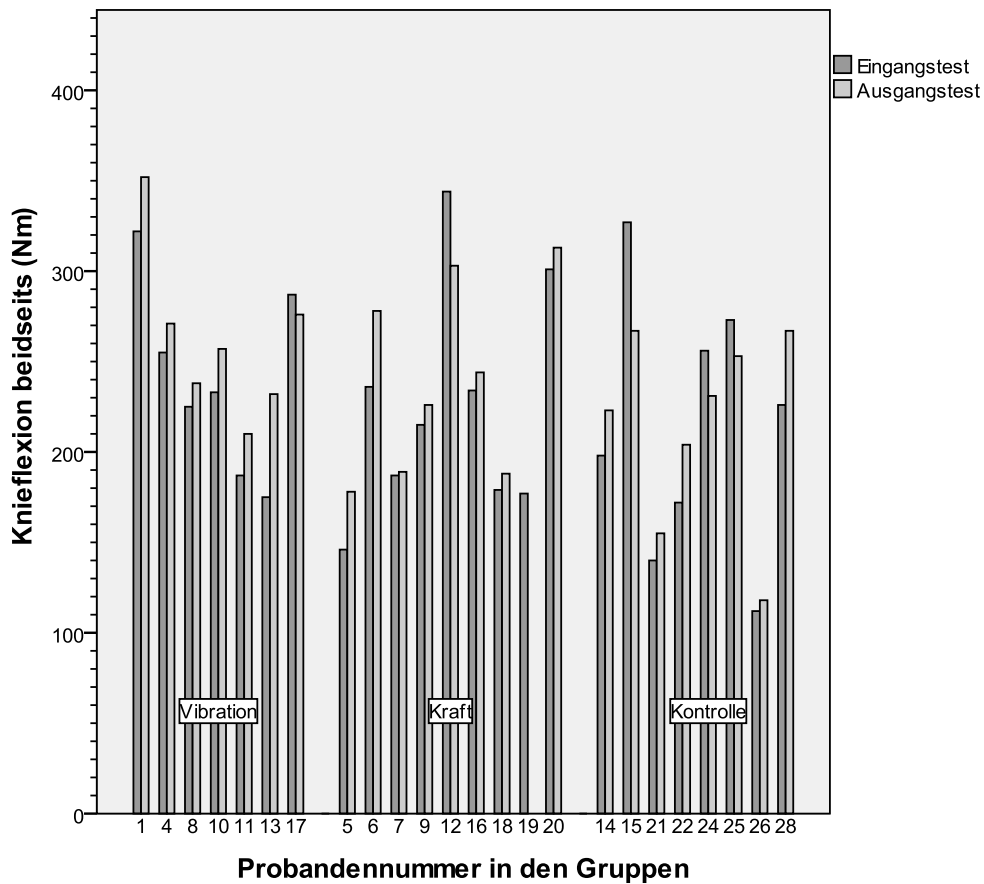


Abb. 32: Knieflexion (Nm).

Mittelwerte der einzelnen Probanden bei Ein- und Ausgangstest.
 Vibration: Vibration-Trainingsgruppe, Kraft: Kraft-Trainingsgruppe,
 Kontrolle: Kontrollgruppe.

Mit der Kovarianzanalyse konnte für die Veränderung der maximalen Kraft in den Knieflexoren zwischen Ein- und Ausgangstest mit einem F-Wert von 2,876 und einem p-Wert von 0,081 kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ermittelt werden (Tab. 30).

Ergebnisse

Tab. 30: Knieflexion im Vergleich der Gruppen.

	Quadrat- summe	Freiheits- grade	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
Knieflexion beidseits ET	44053,467	1	44053,467	93,706	0,000*
Trainingsgruppe	2703,946	2	1351,973	2,876	0,081
Fehler	8932,337	19	470,123		

Kovarianzanalyse der Knieflexion beim Ausgangstest unter Berücksichtigung der Eingangswerte. Knieflexion ET: Knieflexion am Eingangstest. Signifikanzniveau p , * = signifikantes Ergebnis.

5 Diskussion

In der vorliegenden Untersuchung wurde der Frage nachgegangen, wie sich ein sanftes Krafttraining, ein Vibrationstraining sowie ein trainingsfreies Intervall bei männlichen Typ-2-Diabetikern auswirken. Zur Überprüfung dieser Frage wurden Blutparameter aus dem Fettstoffwechsel (Gesamtcholesterin, HDL, LDL und Triglyceride) und dem Kohlenhydratstoffwechsel (Nüchternblutzucker, HbA1c und OGTT-Ergebnisse) sowie Maximalkraftwerte zu Beginn der Studie und nach 12 Wochen herangezogen. Die Untersuchungsfrage galt dann als beantwortet, wenn sich für die jeweiligen Parameter im Vergleich von Ein- und Ausgangstests ein signifikanter Unterschied ergab.

Mit der Frage, welchen Einfluss der Lebensstil auf einen Diabetes mellitus Typ 2 haben könnte, beschäftigten sich bereits zahlreiche Studien. Dabei wurden die verschiedensten Einflussgrößen untersucht. Neben Alter, Geschlecht, Körpergewicht, Zigarettenkonsum, den sozialen Determinanten oder der genetischen Disposition thematisierten einige Studien auch die Auswirkungen körperlicher Aktivität auf den Diabetes mellitus Typ 2. In ihren Untersuchungen unterscheiden sich diese Studien durch die Analyse mit verschiedenen Parametern im Blut, anhand anthropometrischer Daten oder mithilfe der maximalen Kraft u. v. m. Zusammenfassend konnte jedoch zumeist gezeigt werden, dass sich Bewegung positiv auf die Lebenserwartung von Diabetikern auswirkt. Während Zhao et al. (2011) nachweisen konnten, dass sich sowohl moderate (schnelles Walken, Radfahren, Gartenarbeit) als auch intensive körperliche Betätigung (Joggen oder anstrengende körperliche Arbeit) positiv auf die Lebenszeit auswirken, haben Nylen et al. (2010) festgestellt, dass die Gesamtmortalität eines Diabetikers signifikant mit dem Anstieg der körperlichen Belastung sinkt. Untersucht wurden unterschiedliche Trainingsmethoden.

Während es zur Intervention mit Kraft-, Ausdauer- und Flexibilitätstraining bereits einige Forschungsarbeiten gibt (Fenicchia et al., 2004) (Sigal et al., 2007), sind vergleichsweise wenig Studien zu finden, die sich mit den Auswirkungen eines Vibrationstrainings auf den Diabetes mellitus befassen (del Pozo-Cruz et al., 2014). Die vorliegende Arbeit betrachtet sowohl die

Auswirkung eines sanften Kraft- als auch eines Vibrationstrainings im Vergleich zu der Wirkung eines trainingsfreien Intervalls auf den Diabetes mellitus Typ 2 bei Probanden der Kontrollgruppe. Im Folgenden sollen die eigenen Ergebnisse diskutiert sowie mit den Effekten bisheriger Forschungsarbeiten verglichen werden.

5.1 Methodenkritik

Die Rekrutierung der Probanden erfolgte über das Verteilen von Flyern und das Schalten von Inseraten in ortsnahen Arztpraxen sowie Apotheken. Mit dieser Methode sollte eine möglichst repräsentative Probandenstichprobe für die vorliegende Untersuchung gewonnen werden. Potenzielle Teilnehmer, die ein Interesse an der Studie zeigten, hatten bei einem Informationsabend Gelegenheit, weitere Fragen zu stellen und Informationen die Studie betreffend zu erhalten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Auswahl zunächst freiwillige und interessierte Probanden einschloss, sodass die Stichprobe nicht als repräsentativ bezeichnet werden kann. Es ist somit davon auszugehen, dass die Freiwilligkeit auf ein starkes Interesse der Probanden zurückzuführen ist, für sich selbst einen gesunden und bewussten Lebensstil zu realisieren. Aus dieser Annahme kann abgeleitet werden, dass sich entsprechende Konsequenzen für die erfassten Stoffwechselfparameter bereits im Vorfeld der Studie ergeben haben.

Weiterhin erfolgte die Gruppenzuteilung der Probanden nach Absprache. Dies geschah nicht zuletzt, um den Teilnehmern mit Rücksicht auf deren private Zeiteinteilung entgegenkommen zu können. Jedoch muss angemerkt werden, dass aufgrund der dadurch entsprechend fehlenden Randomisierung bei der Gruppenzuteilung die Repräsentativität der Studie weiterhin geschwächt wird. Dennoch hat sich hinsichtlich der insulinpflichtigen Teilnehmer (N=6) eine nahezu gleichmäßige Verteilung in die jeweiligen Trainingsgruppen Vibrationstraining (N=3) und Krafttraining (N=2) ergeben.

Auch ist darauf zu verweisen, dass mit sieben bis neun Teilnehmern pro Versuchsgruppe (Krafttraining (8), Vibrationstraining (7) und Kontrollgruppe (9))

jeweils sehr kleine Stichproben für die vorliegende Arbeit untersucht wurden. Diese findet seinen Niederschlag darin, dass die Daten zu den Gruppencharakteristika sehr große Standardabweichungen aufweisen. Beispielsweise beträgt die Standardabweichung des Zeitpunktes seit der Erstdiagnose des Diabetes mellitus in der Kontrollgruppe 72 Prozent des Messwertes (20 Jahre). Noch deutlicher zeigt sich die Heterogenität des Probandenkollektivs, wenn die Zeit, in der sich die Probanden im Vorfeld der Studie körperlichen Aktivitäten widmeten, betrachtet wird. Alle hier verzeichneten Standardabweichungen übersteigen den jeweils gruppenspezifischen Messwert. Dies indiziert eine sehr große Streuung der Messwerte und sollte bei der Interpretation der Messwerte entsprechende Berücksichtigung finden. Der Einschluss von weiteren Probanden war aus organisatorischen Gründen nicht möglich. Diese Tatsache stellt die Strukturgleichheit der Untersuchungsgruppen zu Beginn der Studie infrage. Da sich jedoch im Hinblick auf die Gruppencharakteristika keine signifikanten Unterschiede ergeben (Ergebnisse nicht gezeigt), kann von einer Strukturgleichheit ausgegangen werden. Es bleibt dennoch fraglich, inwiefern sich diese durch die großen gruppeninternen Standardabweichungen begründet.

Hinsichtlich des Alters der Probanden lassen sich keine gravierenden Unterschiede feststellen. Die größte Altersdifferenz zeigt sich beim Vergleich von Vibrations- und Kraft-Trainingsgruppe mit 6,7 Jahren. Diese Differenz fällt jedoch weit weniger ins Gewicht, wenn zugleich die mittlere Standardabweichung beider Gruppen (6,1 Jahre) berücksichtigt wird. Weiterhin wird die Aussagekraft der vorliegenden Daten dadurch gestärkt, dass die Compliance über alle Trainingsgruppen mit mehr als 95 Prozent als sehr gut einzuschätzen ist. Aufgrund dieser Tatsachen können die eingangs erwähnten Gruppendifferenzen als leicht relativiert betrachtet werden.

Zusätzlich zu den unter 3.2 erläuterten Ein- und Ausschlusskriterien wurden die Probanden darum gebeten, ihre sonstigen Lebensgewohnheiten während des Studienzeitraumes nicht zu ändern. Auf diesem Weg sollte sichergestellt

werden, dass die Untersuchungen zu Stoffwechselfparametern sowie Kraftmessungen nicht durch zusätzliche Störvariablen beeinflusst wurden. Jedoch kann auch nach Abschluss des Studienzeitraumes nicht mit Sicherheit gesagt werden, dass sich alle Probanden entsprechend dieser Anweisung verhalten haben.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die Studie in einem potenziell ungünstigen Zeitraum durchgeführt wurde. Dies bezieht sich darauf, dass die Studie in der Weihnachtszeit stattfand. Traditionell bestehen in dieser Zeit vom sonstigen Jahr abweichende Ess- und Trinkgewohnheiten über einen längeren Zeitraum. Auf diese Weise könnten wiederum die erfassten Parameter beeinträchtigt worden sein (Judd et al., 1998). In diesem Zusammenhang ist weiterhin zu berücksichtigen, dass die Messung mit der Kontrollgruppe erst Ende Februar, also wesentlich später als mit den beiden Trainingsgruppen, durchgeführt wurde. Es kann daher angenommen werden, dass sich die veränderten Stoffwechselfparameter aufgrund der anderen Ernährung in der Weihnachtszeit nicht mehr in den Daten des Ausgangstests der Kontrollgruppe niederschlagen. Entsprechende jahreszeitabhängige Änderungen beispielsweise des Stoffwechsels wurden bereits Ende der 1980er-Jahre beschrieben (Gordon et al., 1987).

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass eine veränderte Bewegungsaktivität (beispielsweise in Form von Sport) aufgrund der kalten Jahreszeit im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht erfasst werden kann. Wie bereits erwähnt, zeigen die Werte der körperlichen Aktivität im Vorfeld der Studie ohnehin eine sehr große Streuung. Entsprechende Daten, dass sich die Muster der körperlichen Aktivität jahreszeitlich bedingt ändern, liegen zwar vor, jedoch können diese nicht in generalisierter Form für die einzelnen Probanden berücksichtigt werden (Tucker et al., 2007).

Weitere mögliche Einflussgrößen auf die Stoffwechselfparameter ergeben sich aus der etwaigen Medikation, die den Probanden verordnet wurde. Diese wurde im Vorfeld der Untersuchung anamnestisch erhoben und nicht weiter überprüft,

da alle Probanden glaubhaft versicherten, keine weiteren Medikamente einzunehmen.

5.2 Fettstoffwechsel

Auch die Auswirkungen der Trainingsvarianten auf den Fettstoffwechsel der Probanden standen im Fokus der vorliegenden Arbeit. Der Fettstoffwechsel wurde dabei durch die Blutparameter Gesamtcholesterin, LDL, HDL und Triglyceride beschrieben. Dabei zeigte sich, dass sich die Werte des Gesamtcholesterins im Rahmen des 12-wöchigen Trainings nicht nennenswert verändert haben. Diese Tatsache trifft auf die Trainingsgruppen sowie die Kontrollgruppe gleichermaßen zu. Dies könnte mit Bezug auf die bereits erwähnten veränderten Ernährungsgewohnheiten zur Weihnachtszeit sowie mit der Jahreszeit, in welcher die Studie durchgeführt wurde, erklärt werden. Bei der Vibrations-Trainingsgruppe kam es nach 12 Wochen sogar zu einer leichten Erhöhung des Gesamtcholesterinspiegels über 9,8 mg/dl von eingangs gemessenen 171 mg/dl auf ausgangs gemessenen 181 mg/dl. Jedoch gibt es weder im Eingangs- noch im Ausgangstest signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (alle $p > 0,39$).

Während sich hier die ermittelten Werte nach 12 Wochen Training kaum verändert haben, konnten andere Autoren über ein 22 Wochen dauerndes, sanftes Krafttraining eine statistisch signifikante Senkung des Gesamtcholesterins um 19 mg/dl erreichen (Honkola et al., 1997). Zu vergleichbaren Werten kommen auch andere Autoren, die über eine signifikante Senkung des Gesamtcholesterinwertes um 30 mg/dl infolge eines Krafttrainings berichten (Varghese et al., 2012). In der Kontrollgruppe, die für die letztgenannte Studie untersucht wurde, ergaben sich für die gemessenen Gesamtcholesterinwerte keine Veränderungen über eine Trainingszeit von 8 Wochen.

Grundsätzlich ist die große Bedeutung, die der Cholesterinspiegel als Indikator für die Gesundheit von Typ-2-Diabetikern hat, zu unterstreichen. So konnte beispielsweise eine finnische Forschergruppe zeigen, dass die Senkung des

Gesamtcholesterinspiegels durch die Therapie mit Simvastatin mit einer Verbesserung der Prognose für die Lebenserwartung und der Senkung des Risikos für kardiovaskuläre Ereignisse einhergeht (Pyörälä et al., 1997). Hier gilt es, kritisch zu reflektieren, dass körperliche Aktivität grundsätzlich der Medikamenteneinnahme vorzuziehen ist, soweit dies im Bereich des Möglichen fällt. Dies lässt sich damit begründen, dass eine medikamentöse Therapie niemals als absolut sicher eingestuft werden kann und im Vergleich zu körperlicher Aktivität hochgradig selektive Effekte entfaltet (Finegold et al., 2014), wohingegen ein Training ganzheitlichere Effekte zeigt (Karper, 2008).

Bei der Untersuchung der HDL-Spiegel von Trainings- und Kontrollgruppen ergab sich ein leicht abweichendes Bild. Im Eingangstest zeigten alle Untersuchungsgruppen relativ ähnliche HDL-Werte um 39 mg/dl. Dies änderte sich über den Trainingszeitraum hinweg für die Kontrollgruppe, deren HDL-Werte nahezu unverändert blieben nicht. Demgegenüber zeigte sich bei den Trainingsgruppen im Ausgangstest eine leichte Erhöhung der HDL-Werte im Vergleich zum Eingangstest. Beide Erhöhungen stellen zwar keinen signifikanten Unterschied gegenüber der Kontrollgruppe dar (beide $p > 0,29$), jedoch fällt die Erhöhung mit 5 Prozent in der Vibrations-Trainingsgruppe und 7 Prozent in der Kraft-Trainingsgruppe vergleichsweise konstant aus. Dass die Erhöhung der HDL-Werte nach 12 Wochen Training kein Zufallsbefund ist, legt eine vergleichbare Studie aus dem Jahr 2012 nahe. In dieser absolvierten 140 Probanden im Alter von 45 bis 60 Jahren, die an Diabetes mellitus Typ 2 litten, über sechs Monate ein Trainingsprogramm mit wöchentlich drei Trainingseinheiten. Im Vergleich von Trainings- und Kontrollgruppe zeigte sich dabei eine signifikante Verbesserung der HDL-Werte (Gibbs et al., 2012).

HDL wird in der wissenschaftlichen Fachliteratur im übertragenen Sinn auch öfter als gutes Cholesterin bezeichnet (Carrol et al., 2015) (Kawamoto et al., 2012). Dies ist darauf zurückzuführen, dass hohe HDL-Werte mit einer geringeren Mortalität infolge von kardiovaskulären Ereignissen assoziiert zu sein scheinen (Rahilly-Tierney et al., 2012), was jedoch kritisch in Anbetracht etwaiger Vorerkrankungen zu betrachten ist. Entsprechende Untersuchungen haben

gezeigt, dass dieser prädiktive Wert von HDL angesichts bestehender Koronararterienerkrankungen gemindert wird (Silbernagel et al., 2013). So haben sich in den vergangenen Jahren neuere und möglicherweise bessere Prädiktoren für das Risiko kardiovaskulärer Ereignisse als der HDL-Spiegel allein herauskristallisieren können. Zu diesen zählen beispielsweise das Triglycerid-HDL-Verhältnis (Vega et al., 2014) und die sogenannten Non-high-density-Lipoproteine (Gu et al., 2015).

LDL wird als wichtiger Marker des Lipidstoffwechsels angesehen, da insbesondere oxidierte LDL-Spezies in die Genese und Progression atherosklerotischer Veränderungen involviert zu sein scheinen (Williams et al., 2013) und somit einen wichtigen Prädiktor für das globale kardiovaskuläre Risiko einer Person darstellen (Toth, 2014). In diesem Zusammenhang wird LDL antonym zum HDL als schlechtes Cholesterin bezeichnet (Bellows et al., 2012) (Lu et al., 2013) (Nichols, 2013). Jedoch sei an dieser Stelle darauf verwiesen, dass die simple Benennung von gutem oder schlechtem Cholesterin eher symbolischen Charakter in Bezug auf das kardiovaskuläre Gesamtrisiko hat und bei genauerer Betrachtung der molekularen Mechanismen sogar eine unzulässige Verkürzung der physiologischen Zusammenhänge darstellen kann (Cham, 2015). Dies gilt unabhängig davon, ob Patienten mit oder ohne diabetischen Hintergrund betrachtet werden.

Werden die LDL-Werte betrachtet, so ergibt sich für die Kraft-Trainingsgruppe eine Senkung um 12,8 Prozent auf 97 mg/dl und für die Kontrollgruppe eine Senkung um 5,9 Prozent auf 106 mg/dl. Demgegenüber zeigte die Vibrations-Trainingsgruppe eine minimale Steigerung der gemessenen LDL-Werte um 0,2 mg/dl, wenn Eingangs- und Ausgangstest verglichen werden. Jedoch ist keine dieser Änderungen im statistischen Sinn als signifikant zu bezeichnen (alle $p > 0,2$). Im Gegensatz dazu konnte eine US-amerikanische Forschergruppe kürzlich zeigen, dass ein Ganzkörpervibrationstraining offensichtlich eine Senkung des LDL-Spiegels nach 12 Wochen Trainingszeit bewirken kann (del Pozo-Cruz et al., 2014). Jedoch erreichte die berichtete Reduktion im Vergleich zur Kontrollgruppe keine statistische Signifikanz und zudem konnte der kritische

Wert von 100 mg/dl nicht unterschritten werden. Entgegen den hier präsentierten Messergebnissen wurde in der Literatur sogar von einer Erhöhung der LDL-Werte infolge eines Krafttrainings berichtet, die jedoch nicht signifikant war (Yavari et al., 2012). Gegensätzlich Ergebnisse wurden 1997 berichtet, denen zufolge ein Krafttraining den LDL-Spiegel nach einem 5-monatigen Trainingszeitraum um 14 Prozent senken kann (Honkola et al., 1997). Diese Erkenntnis steht in Übereinstimmung mit den hier präsentierten Daten.

Als letzter Parameter des Lipidstoffwechsels wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit der Serumspiegel der Triglyceride untersucht. Dabei konnte für die Vibrations-Trainingsgruppe nach zwölf Wochen ein Anstieg von 177 auf 231 mg/dl beobachtet werden. Eine weitere Erhöhung des Triglyceridspiegels wurde in der Kontrollgruppe festgestellt. Hier stieg der Wert von etwa 170 mg/dl auf knapp über 200 mg/dl. Die Werte der Kraft-Trainingsgruppe zeigten nahezu keine Änderung im Vergleich zwischen Eingangstest und Ausgangstest. Zwar gab es anfangs eine Signifikanz erwartung in Bezug auf die Veränderungen in der Vibrations-Trainingsgruppe, die sich jedoch als unbegründet erwies. Die für die Vibrations-Trainingsgruppe ermittelten Werte stehen dabei in Widerspruch zu Effekten, die in der Literatur beschrieben werden. So konnte mit einem 12-wöchigen Vibrationstraining eine Senkung der Triglycerid-Werte von 196 auf 139 mg/dl beobachtet werden (del Pozo-Cruz et al., 2014). Zur Erklärung dieser widersprüchlichen Ergebnisse können wiederum die jahreszeitlichen Randbedingungen der Studie herangezogen und es kann auf veränderte Essgewohnheiten während der Weihnachtszeit verwiesen werden. Abseits dieser Diskrepanzen gibt es vergleichsweise wenig Literaturstellen, die Ergebnisse zu Auswirkungen eines Vibrationstrainings auf den Triglyceridspiegel untersuchen.

5.3 Kohlehydratstoffwechsel

Betrachtet wurden im Ein- und im Ausgangstest die Parameter Nüchternblutzucker, HbA1c sowie die Ergebnisse des OGTT. Für den Nüchternblutzucker und den HbA1c lässt sich zwar bei einzelnen Probanden

eine Senkung der Werte erkennen, die Ergebnisse zeigen jedoch keine signifikanten Unterschiede. Ein möglicher Grund für den erhöhten Nüchternblutzucker könnte die Vorgabe, 10-16 Stunden vor der Testung nüchtern zu bleiben, gewesen sein. Da die Studie in der Vorweihnachtszeit durchgeführt wurde, könnte auch der HbA1c als Langzeitmesswert für den Blutzucker durch das Essverhalten der Probanden beeinflusst worden sein. Zudem wurden die höchsten Senkungen für die jeweiligen Parameter bei Probanden aus der Kontrollgruppe beobachtet. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis könnten die verzögerten Messungen der Kontrollprobanden in der Nachweihnachtszeit sein.

Kritisch sollten die erhöhten Werte des Nüchternblutzuckers betrachtet werden, da diese von zahlreichen Parametern beeinflusst werden sein könnten, die sich der nachträglichen Kontrolle entziehen. Grundsätzlich wäre über den Untersuchungszeitraum eine Senkung zu erwarten gewesen, die auf eine verbesserte Glukosetoleranz schließen lassen würde (Zhu et al., 2014). Jedoch sollte der Tatsache, dass ein höherer Blutzucker maßgeblich mit dem kardiovaskulären Gesamtrisiko eines Patienten zu korrelieren scheint (Anand et al., 2012), keine übermäßige Bedeutung beigemessen werden, da, wie bereits erwähnt, die Einflüsse auf diesen vielfältig sein können (Faulenbach et al., 2012). Dieser Tatsache tragen auch die zahlreichen, teilweise widersprüchlichen Ergebnisse von Studien Rechnung, die die Auswirkungen eines Kraft- beziehungsweise Vibrationstrainings auf den Nüchternblutzucker untersuchten (Boulé et al., 2005) (Boulé et al., 2001) (Hazley et al., 2010).

Im Großen und Ganzen ist der positive Einfluss eines Trainings auf den Nüchternblutzucker und den HbA1c in dieser Studie allerdings fraglich. Im Gegensatz zu den eigenen Ergebnissen konnten einige Studien eine Verbesserung des Nüchternblutzuckers und des HbA1c durch körperliches Training bestätigen. So zeigten del Pozo-Cruz et al. (2014) in ihrer randomisierten Studie mit 50 Typ-2-Diabetikern bei den 25 Patienten in der Interventionsgruppe mit 12-wöchigem Ganzkörpervibrationstraining einen positiven Einfluss auf die glykämische Steuerung mit Senkung des

Nüchternblutzuckers sowie des HbA1c-Wertes. Mit anderen Trainingsmethoden (drei Trainingsgruppen: Ausdauertraining, Krafttraining, Ausdauer- und Krafttraining) konnten Larose et al. (2011) innerhalb von sechs Monaten eine signifikante Verbesserung des HbA1c beobachten. Laut einer leitliniengerechten Therapie sollte für den HbA1c ein Zielwert von 6,5 Prozent angestrebt werden (Kerner et al., 2012). Dabei variieren jedoch die in der Literatur beschriebenen Reduktionswerte je nach Quelle sehr ausgeprägt. Besondere Berücksichtigung diesbezüglich sollten, wie unter 5.6 noch zu erläutern sein wird, die kombinatorischen Effekte verschiedener Trainingsmethoden erfahren. So werden in einer größeren Meta-Analyse absolute Reduktionen um 0,5 bis 0,6 Prozent angegeben (Sigal et al., 2007). Die anteilige Reduktion glykierten Hämoglobins zeigt demgegenüber aber deutliche Unterschiede zwischen einzelnen Trainingsmethoden. Diese sind in der nachfolgenden Abbildung 33 zusammengefasst.

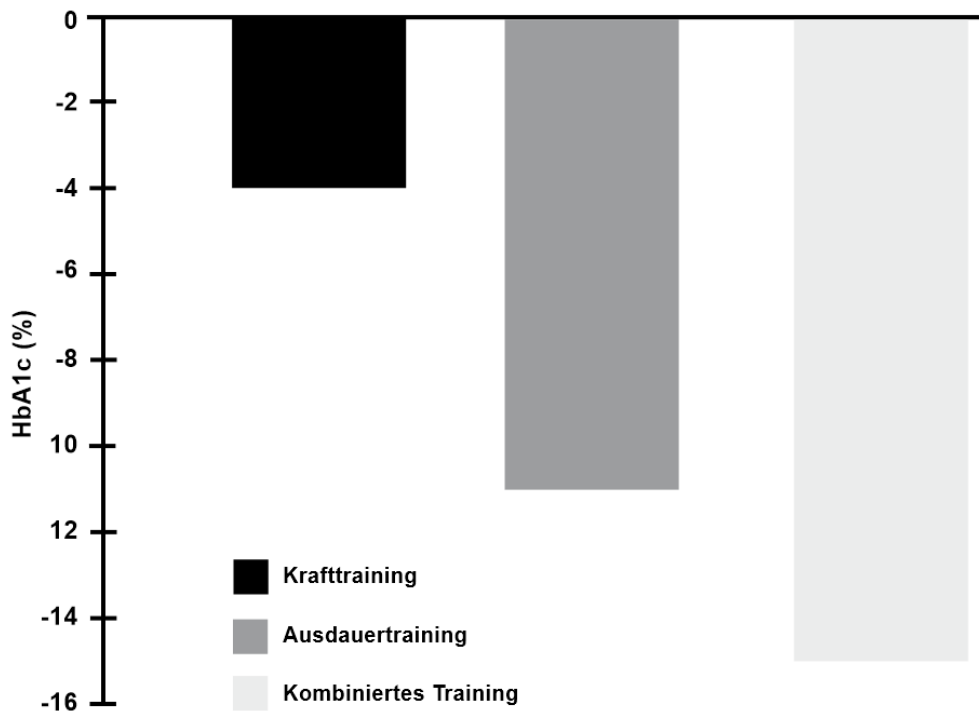


Abb. 33: Anteilige Änderungen der HbA1c-Werte nach Trainingsmethoden
Die dargestellten Werte repräsentieren die anteilige Veränderung des HbA1c-Wertes nach 6 Monaten Training. Abbildung entnommen aus König et al., 2011.

Wie in Abbildung 33 dargestellt ist, kann mit alleinigem Krafttraining nach sechs Monaten Trainingszeit eine Reduktion des glykierten Hämoglobins um 4 Prozent erreicht werden. Mit einem Ausdauertraining ergibt sich eine Senkung um etwa 11 Prozent und bei einer Kombination beider Trainingsvarianten lässt sich eine Reduktion um etwa 15 Prozent erreichen (König et al., 2011) (Sigal et al., 2007). Alle drei Reduktionen sind dabei statistisch signifikant im Vergleich zu den Ausgangswerten. Die synergistischen Effekte verschiedener Trainingsmethoden werden später noch eingehender betrachtet. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der HbA1c-Wert immer noch einer der wichtigsten Parameter zur Beschreibung der glykämischen Verhältnisse im Körper von Diabetes mellitus Typ 2-Patienten ist. Sein Wert als diagnostischer Marker wird auch von der Weltgesundheitsorganisation betont, wobei darauf zu achten sei, dass die Testverfahren zur Bestimmung des HbA1c-Wertes streng

standardisiert sein sollten und ein Wert unter 6,5 Prozent kein Ausschlusskriterium einer diabetischen Erkrankung sein muss (Weltgesundheitsorganisation, 2011).

Als weiterer physiologischer Parameter zur Beurteilung des Kohlenhydratstoffwechsels wurde der orale Glukosetoleranztest (OGTT) genutzt. Bezüglich der hierfür ermittelten Werte lässt sich nach 30, 60 und 90 Minuten im Mittelwertvergleich (Ausgangs- im Vergleich zum Eingangstest) in beiden Trainingsgruppen eine Senkung für die Blutzuckerwerte beobachten. Signifikant war das Ergebnis bei 30 Minuten in der Kraft-Trainingsgruppe. Aus den OGTT-Werten wurden wiederum die Glukose-AUC-Werte bestimmt, die ein Maß für die Glukosetoleranz darstellen. Dabei ergab sich für die Kraft-Trainingsgruppe eine signifikante Verbesserung der Glucose-AUC Werte, was auf eine Verbesserung der Glukosetoleranz hindeutet. In einer zur vorliegenden Arbeit sehr ähnlichen Studie, in welcher die Auswirkungen eines Krafttrainings im OGTT zu den Messzeitpunkten 60, 90 und 120 Minuten verglichen wurden, ergaben sich mit den hier präsentierten Daten vergleichbare Werte. So wurde die maximale Blutglukosekonzentration nach etwa 60 Minuten erreicht, um danach wieder zu sinken. Weiterhin waren die Werte nach der Trainingsphase von 12 Wochen niedriger als davor, was ebenfalls auf eine verbesserte Glucosetoleranz hindeutet (Mahoney et al., 2005). Zu vergleichbaren Ergebnissen, die eine teilweise signifikante Reduktion der OGTT- und damit auch der Glucose-AUC-Werte im Zusammenhang mit einem mehrwöchigen Krafttraining beschreiben, kommen auch andere Studien (Fenicchia et al., 2004) (Tokmakidis et al., 2004).

5.4 Maximalkraft

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde weiterhin untersucht, ob die verschiedenen Trainingsvarianten unterschiedliche Auswirkungen auf die Maximalkraft der Probanden haben. Zunächst wurden dabei die Werte LWS/BWS Flexion untersucht. Dabei ergab sich für alle drei Untersuchungsgruppen ein Kraftzuwachs der Bauchmuskulatur. Dieser fiel in der Kraft-Trainingsgruppe mit 21,4 Nm am stärksten aus. In der Vibrations-

Trainingsgruppe konnte ein Zuwachs von 10,9 Nm ermittelt werden und für die Kontrollgruppe betrug er 7,1 Nm. Gruppenintern betrachtet ist diese Zunahme für die Vibrations- und die Kontrollgruppe signifikant (jeweils $p < 0,03$). Jedoch erweist sich dieser Zusammenhang im Intergruppenvergleich nicht mehr als statistisch signifikant ($p = 0,477$). Andere Studien, die Parameter der Kraftzunahme erfasst haben, weisen für bestimmte Arten des Vibrationstrainings stärkere Zunahmen der Maximalkraft aus, als dies bei einem konventionellen Krafttraining beobachtet wurde. Für das Vibrationstraining konnte eine Zunahme der isometrischen Muskelleistung um 16,6 Prozent beobachtet werden, während es 14,4 Prozent beim konventionellen Krafttraining waren (Delecluse et al., 2003). In der vorliegenden Arbeit können damit übereinstimmende Werte für die LWS/BWS Flexion von 16,5 Prozent für die Kraft-Trainingsgruppe und 6,6 Prozent für die Vibrations-Trainingsgruppe berichtet werden. Auch andere Untersuchungen bescheinigen dem Vibrationstraining, zu einem schnelleren Zuwachs an Maximalkraft zu führen (Mahieu et al., 2006).

Ein ähnliches Ergebnis wie für die LWS/BWS Flexion konnte erwartungsgemäß für die LWS/BWS Extension erzielt werden. Dabei konnte die Vibrations-Trainingsgruppe mit 8,8 Prozent den stärksten Maximalkraftzuwachs verzeichnen. Die Kraft-Trainingsgruppe erreichte einen Zuwachs von 6,4 Prozent. Demgegenüber fand keine nennenswerte Änderung dieses Kraftparameters bei der Kontrollgruppe statt. Aus statistischer Sicht markieren die Änderungen in den Trainingsgruppen einen Trend (Vibration: $p = 0,086$; Kraft: $p = 0,055$). Werden die einzelnen Gruppen im Rahmen einer Kovarianzanalyse untereinander verglichen, zeigt sich ein signifikant stärkerer Zuwachs der Maximalkraft für die Vibrations-Trainingsgruppe ($p = 0,007$). Jedoch muss bei den Betrachtungen berücksichtigt werden, dass sowohl im LWS/BWS Flexionstest als auch im -Extensionstest die Vibrations-Trainingsgruppe den höchsten Absolutwert für die Maximalkraft zeigte und die Kontrollgruppe den niedrigsten. Daher ist es wichtig, immer prozentuale Änderungen zu berücksichtigen, denn die ermittelten Absolutwerte im Eingangstest divergieren im Intergruppenvergleich um fast ein Drittel.

Auf die Ergebnisse der Maximalkraftveränderungen beim Test mit Schulterstabilisatoren und der Knieflexion soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden, da sich hier keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen zeigten. Kraftzuwächse ergaben sich erwartungsgemäß für die beiden Trainingsgruppen, während in der Kontrollgruppe keine Änderungen festgestellt werden konnten. Signifikante Ergebnisse zeigten sich innerhalb der Gruppen bei den Schulterstabilisatoren für die Kraft-Trainingsgruppe ($p = 0,006$) und bei der Knieflexion für die Vibrations-Trainingsgruppe ($p = 0,031$).

Signifikante Unterschiede konnten ebenfalls beim Test der beidseitigen Knieextension festgestellt werden. Während es, wie auch bei der Kontrollgruppe, kaum Veränderungen der Maximalkraft in der Kraft-Trainingsgruppe gab, konnten die Probanden der Vibrations-Trainingsgruppe ihre maximale Kraft von 401,9 auf 452,6 Nm verbessern. Dies entspricht einem Zuwachs an Maximalkraft von 12,7 Prozent. Bei der Betrachtung der einzelnen Gruppen ergibt sich dabei eine signifikante Kraftsteigerung innerhalb der Vibrations-Trainingsgruppe von $p = 0,008$. Gleichzeitig ist dieser Zuwachs im Intergruppenvergleich statistisch signifikant ($p = 0,005$). Eine derartig positive Auswirkung des Vibrationstrainings auf die Knieextensionsstärke konnte auch in einer Studie festgestellt werden, die die Auswirkungen eines solchen Trainings auf Schlaganfallpatientinnen untersuchte. Auch dort werden signifikante Verbesserungen der Maximalkraft berichtet (Tankisheva et al., 2014).

5.5 Effektivität der Trainingsmethoden

Während bereits in zahlreichen Studien dokumentiert werden konnte, dass körperliche Aktivität einen positiven Einfluss auf Stoffwechselfparameter von Typ-2-Diabetikern hat, nutzen immer noch zu wenig Betroffene diese Form der Prävention. Da Kraft- und Ausdauertraining mit hoher Intensität verbunden sein können, wurde in der vorliegenden Studie die Methode eines sanften Krafttrainings gewählt, welches nach Definition von Buskies (2001) das subjektive Belastungsempfinden in den Vordergrund stellt. So werden die Serien im Gegensatz zum Maximalkraft-Training deutlich vor Erreichen der

maximalen Wiederholungsanzahl, bzw. der muskulären Erschöpfung abgebrochen. Hierbei zeigt sich in Studien neben einer Steigerung sowohl der Kraftausdauer als auch der Maximalkraft und der Veränderung anthropometrischer Daten, dass sich auch die physiologische, orthopädische und die subjektive Befindlichkeit bessert (Buskies, 2001) (Müller, 2008). Dennoch sind Kraft- und Ausdauertraining mit einem potenziell hohen Zeitaufwand verbunden. In der vorliegenden Studie 45 Minuten pro Trainingseinheit im Gegensatz zum Vibrationstraining mit 20 Minuten pro Trainingseinheit. So ist es denkbar, dass diese Trainingsmethoden durchaus abschreckend auf Diabetiker wirken könnten. Deshalb sollte mit dem Vibrationstraining unter anderem eine vergleichsweise aufwandsärmere Alternative untersucht werden. Gleichzeitig betonen Alfonso-Rosa et al. (2015) die Wirtschaftlichkeit des Ganzkörpervibrationstrainings. In ihrer randomisierten, kontrollierten, 12-wöchigen Studie konnten sie die Kosten-Nutzen-Effektivität des Vibrationstrainings beschreiben und empfehlen das Ganzkörpervibrationstraining in die Standardversorgung von Typ-2-Diabetikern zu integrieren.

Grundsätzlich bleibt festzuhalten, dass sowohl Vibrations- als auch Krafttraining eine positive Auswirkung auf die Gesamtgesundheit der Probanden haben, was sich in der Verbesserung diverser physischer und physiologischer Parameter, die bei Typ-2-Diabetikern beeinträchtigt sind, zeigt. Gleichwohl ist die Effektstärke parameterabhängig, und es gibt qualitative Unterschiede zwischen den Methoden. Mit der Auswahl bestimmter Trainingsübungen wurde versucht, dem Umstand Rechnung zu tragen, dass möglichst die gleichen Muskelgruppen bei Probanden beider Trainingsgruppen angesprochen werden sollten. Die unterschiedlichen Trainingszeiten (20 Minuten Vibrationstraining und 45 Minuten Krafttraining) wurden bewusst gewählt, da davon ausgegangen werden konnte, dass das Vibrations-Training mit einer höheren Intensität verbunden ist. Mit einer Verkürzung der Zeit pro Trainingseinheit wurde versucht, diesem Umstand Rechnung zu tragen. Jedoch ist weiterhin anzumerken, dass in der Gruppe, die das Vibrationstraining absolviert hatte, keine initiale Anpassung der Startparameter an die individuelle Leistungsfähigkeit vorgenommen wurde.

Demgegenüber betrug das Startgewicht in der Trainingsgruppe für das sanfte Krafttraining 50 Prozent des eigenen Körpergewichts. Dies könnte dazu geführt haben, dass einige Teilnehmer der Vibrations-Trainingsgruppe während der Übungen entweder zu stark oder zu schwach belastet wurden. Dabei ist festzuhalten, dass eine Individualisierung des Trainings, unabhängig von dessen Art, zu einer schnelleren Leistungssteigerung beitragen kann (Cochrane, 2011).

5.6 Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung war es möglich, wichtige Erkenntnisse zu Veränderungen von Stoffwechselfparametern von Typ-2-Diabetikern zu gewinnen, die über 12 Wochen ein Kraft- oder Vibrationstraining im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne Intervention absolvierten. Dennoch ergeben sich aus den gewonnenen Erkenntnissen weitere Forschungsfragen, die Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein sollten. Auf diese soll nachfolgend eingegangen werden.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung konnten lediglich 24 Probanden berücksichtigt werden. Künftige Studien sollten daher mehr Probanden einschließen, um zu sichereren Erkenntnissen bezüglich der gemessenen Parameter zu erlangen. Dabei sollte im Vordergrund stehen, den hochgradig diversifizierten Lebensgewohnheiten der Probanden Rechnung zu tragen, um so repräsentativere Ergebnisse zu erzielen, als dies im Rahmen der vorliegenden Arbeit möglich war. Dabei ist nicht zwangsläufig davon auszugehen, dass die ermittelten Standardabweichungen beispielsweise in Bezug auf die körperliche Aktivität der Probanden kleiner werden, jedoch ließen sich so bestehende Trends, Entwicklungen und signifikante Unterschiede, die als objektivierbare Trainingseffekte gelten können, genauer herausstellen und belegen. Auch sollte in Erwägung gezogen werden, den Trainingszeitraum über 12 Wochen auszudehnen, um so auch ein belastbares Bild der Langzeitfolgen des Trainings zu erhalten. So gibt es Erkenntnisse, dass eine nachhaltige Änderung des Lebensstils infolge von mehr körperlicher Aktivität bei Patienten mit Diabetes mellitus Typ 2 erst nach einem Beobachtungszeitraum von einem

Jahr objektivierbare positive Effekte für das Risiko von Herz-Kreislauf-Erkrankungen mit sich bringt (Espeland, 2007). Forderungen nach einer Vergrößerung der Stichprobe und einer Verlängerung des Untersuchungszeitraumes müssen dennoch immer vor dem Hintergrund begrenzter Forschungsressourcen betrachtet werden. Daher bleibt die Frage einer Angemessenheit des Studienaufbaus für die zu untersuchende Fragestellung immer ein Balanceakt angesichts begrenzter zeitlicher, personeller und finanzieller Mittel.

Demgegenüber stellt die Tatsache, dass künftig eine Randomisierung der Probanden bei der Verteilung auf die jeweiligen Trainings- beziehungsweise Kontrollgruppen vorgenommen wird, keine derartige organisatorische Härte dar. Auf diesem Weg ließe sich die Repräsentativität der erhobenen Daten vergleichsweise einfach steigern, wodurch der statistische Wert der durchgeführten Analysen maßgeblich positiv beeinträchtigt würde.

Angesichts des bei Frauen beobachteten höheren positiven Effekts des Vibrationstrainings stellt sich die Frage, weshalb die Effektstärke bei dem hier untersuchten männlichen Probandenkollektiv geringer ausfiel. Aufschluss darüber könnte eine Kontrolle des Muskelstoffwechsels mittels bildgebender Verfahren geben. In diesem Zusammenhang sollten auch muskuloskeletale Aspekte des Stoffwechsels stärkere Berücksichtigung erfahren. Dabei sollten insbesondere die mitochondriale Aktivität und die Substratverwertung im Fokus künftiger Arbeiten stehen. Diesbezüglich konnte zum Beispiel gezeigt werden, dass eine Kombination von Aerobic- und Widerstandstraining alle untersuchten Stoffwechselaspekte der muskuloskeletalen Mitochondrienaktivität verbessert (Sparks et al., 2013). Die Autoren der Studie heben weiter hervor, dass ein derartiges Kombinationstraining eine entscheidende Verbesserung des Lebensstils von Typ-2-Diabetikern darstellen kann.

Weiterhin sollten Interferenzeffekte, die bei der Anwendung verschiedener Trainingsmethoden auftreten können, genauer berücksichtigt werden. So konnte beispielsweise festgestellt werden, dass eine Kombination aus Kraft- und Ausdauertraining mit stärkeren metabolischen Effekten verbunden ist als

ein Kraft- oder Ausdauertraining allein (Sigal et al., 2007). Zwar gibt es hierzu noch keine weiteren Erkenntnisse, jedoch kann davon ausgegangen werden, dass die verschiedenartige Beanspruchung infolge zweier Trainingsmethoden auch die physiologischen Parameter der Probanden selektiv anspricht. Vergleichbare Ergebnisse wurden auch für die HbA1c-Level von Diabetes Typ-2-Patienten beschrieben, wenn selektiv ein Aerobic- oder Widerstandstraining im Vergleich zur Kombination beider Methoden absolviert wurde (Church et al., 2010).

6 Zusammenfassung

Einleitung

Bisherige Untersuchungen zeigten eine Verbesserung der Stoffwechselkontrolle bei Typ-2-Diabetikern durch eine Zunahme der Muskelmasse und durch Ausdauertraining. Letzteres stößt auf wenig Akzeptanz bei dieser Klientel. Ideal erscheint das Vibrationstraining, das geringerer körperlicher Anstrengung bedarf. Deswegen war es Ziel der vorliegenden Studie, den metabolischen Einfluss eines 12-wöchigen Ganzkörper-Vibrationstrainings im Vergleich zu einem niedrig dosierten Krafttraining bei männlichen Typ-2-Diabetikern zu untersuchen.

Methode

Insgesamt wurden dazu 24 Probanden in drei nicht randomisierte Gruppen eingeteilt (Vibrations-Trainingsgruppe N=7, Kraft-Trainingsgruppe N=9, Kontrollgruppe N=8). Die Trainingsgruppen absolvierten ein Vibrationstraining oder ein niedrig dosiertes Krafttraining für fünf große Muskelgruppen. Bei der Kontrollgruppe wurde keine Intervention durchgeführt. Das Vibrationstraining wurde auf einem Trainingsgerät mit einer seitenalternierenden Vibrationsplatte durchgeführt. In beiden Gruppen wurde eine Trainingsprogression nach jeweils drei Wochen durchgeführt. Die Auswirkungen des Trainings auf Cholesterin, HDL, LDL und Triglyceride, auf Nüchternblutzucker, HbaA1c und OGTT sowie auf die Maximalkraft der LWS/BWS Flexoren und Extensoren, die Schulterstabilisatoren, die Knieextensoren und Knieflexoren wurden untersucht.

Ergebnisse

Das Cholesterin blieb in allen Gruppen nahezu unverändert, HDL stieg in beiden Interventionsgruppen geringfügig an, LDL hat sich nicht signifikant reduziert, die Triglyceride reduzierten sich nach Krafttraining und stiegen nach Vibrationstraining geringfügig.

Der Nüchternblutzucker reduzierte sich in der Kraft- und der Kontrollgruppe ohne ein Signifikanzniveau zu erreichen. Ebenfalls nahezu konstant blieben der HbA1c und der OGTT. Nur der 30-Minuten-Wert fiel nach dem sanften Krafttraining niedriger aus ($p < 0,05$). Eine Signifikanz ließ sich bei der Kraft-Trainingsgruppe bei der Messung der AUC sichern ($p < 0,05$).

Die Maximalkraft der LWS/BWS Flexoren ergab einen Kraftzuwachs in der Kraft-Trainingsgruppe (nicht signifikant), in der Vibrations-Trainingsgruppe ($p < 0,02$) und in der Kontrollgruppe ($p < 0,04$) sowie für die LWS/BWS Extensoren war die Verstärkung nur im Trend bei der Kraft-Trainingsgruppe ($p = 0,055$) und in der Vibrations-Trainingsgruppe ($p = 0,086$) sowie unverändert in der Kontrollgruppe. Die Schulterstabilisatoren zeigten in allen drei Gruppen einen Kraftzuwachs, der bei der Kraft-Trainingsgruppe ein Signifikanzniveau erreichte ($p < 0,01$). Die Knieextensorenkraft verbesserte sich nur in der Vibrations-Trainingsgruppe ($p < 0,01$), dies gilt ebenso für die Knieflexoren ($p < 0,04$).

Die Compliance betrug bei der Kraft-Trainings-Gruppe 97% und bei der Vibrations-Trainingsgruppe 95%.

Fazit

Zusammenfassend empfiehlt sich das Vibrationstraining zur Stärkung der Beinmuskulatur und das sanfte Krafttraining eher für die großen Muskelgruppen im Stammbereich. Erwartete Stoffwechseleffekte bei Typ-2-Diabetikern ergaben keine Veränderungen bei den Lipidstoffwechselfparametern, nur bei der AUC nach dem OGTT. Es fand sich eine signifikante Verbesserung der Glukosetoleranz nach sanftem Krafttraining. Ähnliche Untersuchungen sollten über einen längeren Zeitraum und mit einer größeren Probandenzahl durchgeführt werden.

7 Literatur

- Accu-Chek. (2010). Roche Diagnostics GmbH. Abgerufen am 5. 10 2010 von https://www.accuchek.de/produkte/de/blutzuckermesssysteme/aviva/technische_daten/technische_daten.html
- Anand, S., Dagenais, G., Mohan, V., Diaz, R., Probstfield, J., & Freeman, R. (2012). *Glucose levels are associated with cardiovascular disease and death in an international cohort of normal glycaemic and dysglycaemic men and women: the EpiDREAM cohort study*. *European Journal of Preventive Cardiology*, 19(4), 755–764.
- Baum, K., Votteler, T., & Schiab, J. (2007). *Efficiency of vibration exercise for glycemic control in type 2 diabetes patients*. *Int J Med Sci*. 4 (3): 159-163.
- Bayer HealthCare. (2006). *DCA 2000+, Packungsbeilage*. Elkhart: Bayer HealthCare.
- Bellows, L., & Moore, R. (2012). *Dietary fat and cholesterol*. *Colorado State University Extension*. Food and Nutrition Series. Health (Vol. 9).
- Bosco, C., Iacovelli, M., Tsarpela, O., & et al. (2000). *Hormonal responses to whole-body vibration in men*. *Eur J Appl Physiol* 81 (6): 449-454.
- Boulé, N., Haddad, E., Kenny, G., Wells, G., & Sigal, R. (2001). *Effects of exercise on glycemic control and body mass in type 2 diabetes mellitus: a meta-analysis of controlled clinical trials*. *JAMA* 286: 1218-1227.
- Boulé, N., Weisnagel, S., Lakka, T., Tremblay, A., Bergman, R., Rankinen, T., & et al. (2005). *Effects of Exercise Training on Glucose Homeostasis The HERITAGE Family Study*. *Diabetes Care*, 28(1), 108–114.
- Brooks, N., Layne, J., Gordon, P., & et al. (2006). *Strength training improves muscle quality and insulin sensitivity in Hispanic older adults with type 2 diabetes*. *Int J Med Sci*. 4 (1): 19-27.

- Buskies, W. (2001). *Zur Bedeutung des sanften Krafttrainings nach dem subjektiven Belastungsempfinden*. Sportwissenschaft 31: 45-60.
- Carrol, M., Fryar, C., & Kit, B. (2015). *Total and High-density Lipoprotein Cholesterol in Adults: United States, 2011-2014*. NCHS Data Brief, (226), 1–8.
- Cham, B. (2015). *Not All “BAD” Cholesterol Carriers Are Necessarily Bad and Not All “GOOD” Cholesterol Carriers Are as Good as Can Be*. Plasma Delipidation a Non-Pharmacological Treatment for Atherosclerosis, (September), 690–699.
- Cholestech LDX. (2011). Incomat Medizinische Geräte GmbH. Abgerufen am 28. 3 2011 von http://www.cholestech.com/docs/ldx/LDX_UM_DE.pdf
http://www.cholestech.com/docs/ldx/LDX_QRG_DE.pdf
- Church, T., Blair, S., Cocreham, S., Johannsen, N., Johnson, W., Kramer, K., & et al. (2010). *Effects of aerobic and resistance training on hemoglobin A1c levels in patients with type 2 diabetes: a randomized controlled trial*. JAMA, 304(20), 2253–2262.
- Clauss, J. (2006). *Vibrationstraining im Rahmen der Betrieblichen Gesundheitsförderung - Untersuchung der Auswirkungen von Vibrationstraining auf die Maximalkraft- und Beweglichkeitswerte des Rumpfes sowie auf die Rückenschmerzen bei Mitarbeitern der Festo AG & Co. KG*. Diplomarbeit für Sportwissenschaft, Universität Tübingen.
- Cochrane, D. (2011). *Vibration exercise: the potential benefits*. Int J Sports Med, 32(2), 75.
- DAVID. (2011). *Beschreibung der Trainingsgeräte*. Abgerufen am 19. 4 2011 von http://www.david-international.com/cms/index.php/index.php?option=com_content&view=category&id=35&Itemid=413

- DDG. (2004). *Evidenzbasierte Leitlinie: Epidemiologie und Verlauf des Diabetes mellitus in Deutschland*. Deutsche Diabetes Gesellschaft. Abgerufen am 2014. 3 24 von http://www.deutsche-diabetes-gesellschaft.de/fileadmin/Redakteur/Leitlinien/Evidenzbasierte_Leitlinien/EBL_Epidemiologie_Update_2004.pdf
- del Pozo-Cruz, B., Alfonso-Rosa, R., del Pozo-Cruz, J., Sañudo, B., & Rogers, M. (2014). *Effects of a 12-wk whole-body vibration based*. *Maturitas*, 77(1), 52–8.
- Delecluse, C., Roelants, M., & Verschueren, S. (2003). *Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training*. *Med Sci Sports Exerc*, 35(6), 1033–1041.
- Denner, A. (1997). *Muskuläre Profile der Wirbelsäule*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Dotevall, A., Johansson, S., Wilhelmsen, L., & Rosengren, A. (2004). *Increased levels of triglycerides, BMI and blood pressure and low physical activity increase the risk of diabetes in Swedish women. A prospective 18-year follow-up of the BEDA study*. *Diabet Med* 21: 615-622.
- Espeland, M. (2007). *Reduction in Weight and Cardiovascular Disease Risk Factors in Individuals With Type 2 Diabetes: One-Year Results of the Look AHEAD Trial Received*. *Diabetes Care*, (January), 1–23.
- Faulenbach, M., Uthoff, H., Schwegler, K., Spinass, G., Schmid, C., & Wiesli, P. (2012). *Effect of psychological stress on glucose control in patients with Type 2 diabetes*. *Diabet Med*, 29(1), 128–131.
- Fenicchia, L., Kanaley, J., Azevedo, J., Miller, C., Weinstock, R., Carhart, R., & Ploutz-Snyder, L. (2004). *Influence of resistance exercise training on glucose control in women with type 2 diabetes*. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 53(3), 284–289.

- Finegold, J., Manisty, C., Goldacre, B., Barron, A., & Francis, D. (2014). *What proportion of symptomatic side effects in patients taking statins are genuinely caused by the drug? Systematic review of randomized placebo-controlled trials to aid individual patient choice.* Eur J Prev Cardiol, 21(4), 464–474.
- Folsom, A., Kushi, L., & Hong, C. (2000). *Physical activity and incident diabetes mellitus in postmenopausal women.* Am J Public Health 90: 134-138.
- Gibbs, B., Dobrosielski, D., Bonekamp, S., Stewart, K., & Clark, J. (2012). *A randomized trial of exercise for blood pressure reduction in type 2 diabetes: effect on flow-mediated dilation and circulating biomarkers of endothelial function.* Atheroscler, 224(2), 446–453.
- Gordon, D., Trost, D., Hyde, J., Whaley, F., Hannan, P., Jacobs, D., & Ekelund, L. (1987). *Seasonal cholesterol cycles: the Lipid Research Clinics Coronary Primary Prevention Trial placebo group.* Circulation, 76(6), 1224–1231.
- Gu, X., Yang, X., Li, Y., Cao, J., Li, J., Liu, X., & et.al. (2015). *Usefulness of Low-Density Lipoprotein Cholesterol and Non--High-Density Lipoprotein Cholesterol as Predictors of Cardiovascular Disease in Chinese.* Am J Cardiol, 116(7), 1063–1070.
- Haapanen, N., Miilunpalo, S., Vuori, i., Oja, P., & Pasanen, M. (1997). *Association of leisure time physical activity with the risk of coronary heart disease, hypertension and diabetes in middle-aged men and women.* Int J Epidemiol 26:739-747.
- Hazley, L., Ingle, L., Tsakirides, C., Carroll, S., & Nagi, D. (2010). *Impact of a short-term, moderate intensity, lower volume circuit resistance training programme on metabolic risk factors in overweight/obese type 2 diabetics.* Res Sports Med, 18(4), 251–262.

- Honkola, A., Forson, T., & Eriksson, J. (1997). *Resistance training improves the metabolic profile in individuals with type 2 diabetes*. *Acta Diabetol*, 34(4), 245–248.
- Hu, F., Leitzmann, M., Stampfer, M., Colditz, G., Willet, W., & Rimm, E. (2001). *Physical activity and television watching in relation to risk for type 2 diabetes mellitus in men*. *Arch Intern Med*. 161: 1542-1548.
- Hu, F., Sigal, R., Rich-Edwards, J., Colditz, G., Soloman, C., Willet, W., & et. al. (1999). *Walking compared with vigorous physical activity and risk of type II diabetes in women: a prospective study*. *JAMA* 282: 1433-1439.
- Icks, A., Rathmann, W., Rosenbauer, J., & Giani, G. (2005). *Gesundheitsberichterstattung des Bundes: Diabetes mellitus - Themenhefte, Heft 24*. Abgerufen am 24. 3 2014 von http://www.gbe-bund.de/gbe10/abrechnung.prc_abr_test_logon?p_aid=62172267&p_uid=gastg&p_sprache=D&p_knoten=FID&p_suchstring=9432#fid9427
- Issurin, V., & Tenenbaum, G. (1999). *Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes*. *J Sports Sci*. 17 (3): 177-182.
- Judd, J., Baer, D., Clevidence, B., Muesing, R., Chen, S., Weststrate, J., & Schaefer E.J. (1998). *Effects of margarine compared with those of butter on blood lipid profiles related to cardiovascular disease risk factors in normolipemic adults fed controlled diets*. *Am J Clin Nutr*, 68(4), 768–777.
- Karper, W. (2008). *The Holistic Effects of Long-Term Exercise, Health Education, and Resource Assistance on One Woman With Multiple Debilitating Medical Problems: A Case Report*. *Holist Nurs Pract*, 22(4), 206–209.
- Kawamoto, R., Tabara, Y., Kohara, K., Miki, T., Abe, M., & Kusunoki, T. (2012). *Increased high-density lipoprotein cholesterol is associated with a high*

- prevalence of pre-hypertension and hypertension in community-dwelling persons.* Endocrine, 42(2), 321–328.
- Kennedy, J., Hirshmann, M., Gervino, E., Ocel, J., Forse, R., & et al. (1999). *Acute exercise induces GLUT4 translocation in skeletal muscle of normal human subjects and subjects with type 2 diabetes.* Diabetes 48 (5): 1192-1197.
- Kerner, W., & Brückel, J. (2012). *Definition, Klassifikation und Diagnostik des Diabetes mellitus.* Diabetologie Und Stoffwechsel, 7(SUPPL. 2), 83–87.
- König, D., Deibert, P., Dickhuth, H., & Berg, D. (2011). *Krafttraining bei Diabetes mellitus Typ 2.* Dtsch Z Sportmed, 1(11), 5–9.
- Kriska, A., Saremi, A., Hanson, R., Bennet, P., Kobes, S., Williams, D., & et al. (2003). *Physical activity, obesity and the incidence of type 2 diabetes in a high-risk population.* Am J Epidemiol 158: 669-675.
- Larose, J., Sigal, R., Khandwala, F., Prud'Homme, D., Boulé, N., & Kenny, G. (2011). *Associations between physical fitness and HbA_{1c} in type 2 diabetes mellitus.* Diabetologia 54 (1): 93-102.
- Lindström, j., lilanne-Parikki, P., Peltonen, M., Aunola, S., Eriksson, J., Hemiö, K., & et al. (2006). *Sustained reduction in the incidence of type 2 diabetes by lifestyle intervention: follow-up of the Finnish Diabetes Prevention Study.* Lancet 368: 1673-1679.
- Look Ahead Research Group, & al., e. (2013). *Cardiovascular effects of intensive lifestyle intervention in type 2 diabetes.* N Engl J Med. 369 (2): 145-154.
- Lu, M., Jayaraman, S., Gantz, D., Herscovitz, H., & Gursky, O. (2013). *Kinetic analysis of thermal stability of human low-density lipoproteins: A model for LDL fusion in atherogenesis.* The FASEB Journal, 27(1_MeetingAbstracts), 1208.

- Mahieu, N., Witvrouw, E., Van de Voorde, D., Michilsens, D., Arbyn, V., & Van den Broecke, W. (2006). *Improving strength and postural control in young skiers: whole-body vibration versus equivalent resistance training*. *J Athl Train*, 41(3), 286–93.
- Mahoney, E., Bickel, C., Elder, C., Black, C., Slade, J., Apple, D., . . . et al. (2005). *Changes in skeletal muscle size and glucose tolerance with electrically stimulated resistance training in subjects with chronic spinal cord injury*. *Arch Phys Med Rehabil*, 86(7), 1502–1504. Von <http://doi.org/10.1016/j.apmr.2004.12.021> abgerufen
- Manson, J., Nathan, D., Krolewski, A., Stampfer, M., Willet, W., & Hennekens, C. (1992). *A prospective study of exercise and incidence of diabetes among US male physicians*. *JAMA* 268: 63-67.
- Manson, J., Rimm, E., Stampfer, M., Colditz, G., Willet, W., & Krolewski, A. (1991). *Physical activity and incidence of non-insulin-dependent diabetes mellitus in women*. *Lancet* 338: 774-778.
- Mensink, G. (2003). *Beiträge zur Bundes-Gesundheitssurvey: Körperliche Aktivität (PDF, 291 KB)*. Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Berlin: RKI (2003).
- Müller, D. (2008). *Effekte eines sanften Krafttrainings auf die Stoffwechselformparameter bei männlichen Diabetes mellitus Typ 2*.
- National Diabetes Data Group. (1997). *Classification and diagnosis of diabetes mellitus and other categories of glucose intolerance*. *Diabetes* 28: 1039-1057.
- Nichols, T. (2013). *Bad cholesterol breaking really bad*. *Blood*, 122(22), 3551–3553.
- Nylen, E., Kokkinos, P., Meyers, J., & Faselis, C. (2010). *Prognostic effect of exercise capacity on mortality in older adults with diabetes mellitus*. *J Am Geriatr Soc*. 58 (10): 1850-1854.

- Perry, I., Wannamethee, S., Walker, M., Thomson, A., Whincup, P., & Shaper, A. (1995). *Prospective study of risk factors for development of non-insulin dependent diabetes in middle aged British men*. *BMJ* 310: 560-564.
- Priya, M., Gopinath, R., & Raja, S. (2012). *Effect Of Yogic Practices And Physical Exercises On Blood Glucose And High Density Lipoproteins Among Diabetes Patients*. S. No Names of the Articles Page. No, 30.
- Pyörälä, K., Pedersen, T., Kjekshus, J., Faergeman, O., Olsson, A., Thorgeirsson, G., & et al. (1997). *Cholesterol lowering with simvastatin improves prognosis of diabetic patients with coronary heart disease: a subgroup analysis of the Scandinavian Simvastatin Survival Study (4S)*. *Diabetes Care*, 20(4), 614–620.
- Rahilly-Tierney, C., Sesso, H., Gaziano, J., & Djoussé, L. (2012). *High-Density Lipoprotein and mortality before age 90 in male physicians*. *Circ: Cardiovasc Qual Outcomes*, 5(3), 381–386.
- Rittweger, J., Ehrig, J., Just, K., & et al. (2002). *Oxygen Uptake in Whole-Body Vibration Exercise: Influence of Vibration*. *Int J Sports Med*. 23:428-432.
- RKI. (2004). *Ausgewählte nicht übertragbare Krankheiten, Risikofaktoren, Beschwerden, Symptome*. Abgerufen am 18. 8 2009 von http://www.rki.de/cln_091/nn_197444/DE/Content/GBE/Auswertungsergebnisse/nichtuebertragbareKrankheiten/nicht__uebertragb__krankheiten__inhalt.html?__nnn=true
- RKI. (2007). *Bewegung*. Abgerufen am 18. 8 2009 von http://www.rki.de/cln_091/nn_197444/sid_9234730728EEDDB15F49FF58CDA6CBF/DE/Content/GBE/Auswertungsergebnisse/Gesundheitsverhalten/Bewegung/bewegung__inhalt.html?__nnn=true

- Roelants, M., Delecluse, C., & Verschueren, S. (2004). *Whole body vibration training increases knee-extension strength and speed of movement in older women*. JAGS. 8: 901-908.
- Sacks, D., Bruns, D., Goldstein, D., Maclaren, N., McDonald, J., & Parrott, M. (2002). *Guidelines and recommendations for laboratory analysis in the diagnosis and management of diabetes mellitus*. Clin Chem 48: 436-72.
- Schmitz, P. (2006). *Ein Vergleich zwischen seitenalternierender Muskelstimulation und apparativem Krafttraining an Geräten bezüglich Kraftzuwachs und Mobilitätsverbesserung der Rumpfmuskulatur*. Diplomarbeit für Sportwissenschaft, Universität Tübingen.
- Schranz, A., Tuomilehto, J., Marti, B., Jarrett, R., Grabauskas, V., & Vassollo, A. (1991). *Low physical activity and worsening of glucose tolerance: results from a 2-year follow-up of a population sample in Malta*. Diabetes Res Clin Pract 11: 127-136.
- Siegrist, J. (2004). *Soziale Determinanten von Herz-Kreislauf-Krankheiten. Neue Erkenntnisse und ihre Bedeutung für die Prävention*. Paderborn: Verlag Ferdinand Schöningh.
- Sigal, R., Kenny, G., Boulé, N., Wells, G., Prud'homme, D., Fortier, M., & et al. (2007). *Effects of aerobic training, resistance training, or both on glycemic control in type 2 diabetes: a randomized trial*. Ann Intern Med, 147(6), 357–369.
- Silbernagel, G., Schöttker, B., Appelbaum, S., Scharnagl, H., Kleber, M., Grammer T.B., & et.al. (2013). *High-density lipoprotein cholesterol, coronary artery disease, and cardiovascular mortality*. Eur Heart J, 34(46), 3563–3571.
- Snowling, N., & Hopkins, W. (2006). *Effects of different modes of exercise training on glucose control and risk factors for complications in type 2 diabetic patients: a meta-analysis*. Diabetes Care 29 (11): 2518-2527.

- Sparks, L., Johannsen, N., Church, T., Earnest, C., Moonen-Kornips, E., Moro, C., & Schrauwen, P. (2013). *Nine months of combined training improves ex vivo skeletal muscle metabolism in individuals with type 2 diabetes*. *The J Clin Endocrinol Metab*, 98(4), 1694–1702.
- Statistisches Bundesamt. (2017). *Gesundheit- Todesursachen in Deutschland*. Abgerufen am 24. 3 2017 von <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Gesundheit/Todesursachen/Todesursachen2120400157004.pdf>
- Tankisheva, E., Bogaerts, A., Boonen, S., Feys, H., & Verschueren, S. (2014). *Effects of intensive whole-body vibration training on muscle strength and balance in adults with chronic stroke: a randomized controlled pilot study*. *Arch Phys Med Rehabil*, 95(3), 439–446.
- Tokmakidis, S., Zois, C., Volaklis, K., Kotsa, K., & Touvra, A. (2004). *The effects of a combined strength and aerobic exercise program on glucose control and insulin action in women with type 2 diabetes*. *Eur J Appl Physiol*, 92(4-5), 437–442.
- Torvinen, S., Sievänen, H., Järvinen, T., & et al. (2002). *Effect of a 4-min Vertical Whole Body Vibration on Muscle Performance and Body Balance*. *Int Sports Med*, 23: 374-379.
- Toth, P. (2014). *Insulin resistance, small LDL particles, and risk for atherosclerotic disease*. *Curr Vasc Pharmacol*, 12(4), 653–657.
- Tucker, P., & Gilliland, J. (2007). *The effect of season and weather on physical activity: a systematic review*. *Public Health*, 121(12), 909–922.
- Varghese, R., & Abraham, G. (2012). *Resistance Exercise Training Programme And Its Impact On Total Cholesterol Of Women Graduates*. *International Journal of Health, Physical Education and Computer Science in Sports*, 5(1), 33–36.

- Vega, G., Barlow, C., Grundy, S., Leonard, D., & DeFina, L. (2014). *Triglyceride-to-High-Density-Lipoprotein-Cholesterol Ratio Is an Index of Heart Disease Mortality and of Incidence of Type 2 Diabetes Mellitus in Men*. *Journal of Investigative Medicine*, 62(2), 345–349.
- Weltgesundheitsorganisation. (2011). *Use of glycated haemoglobin (HbA1c) in diagnosis of diabetes mellitus*. Abbreviated report of a WHO consul. Von <http://www.who.int/iris/handle/10665/70523> abgerufen
- Wild, S., Roglic, G., Green, A., Sicree, R., & King, H. (2004). *Global prevalence of diabetes: estimates for the year 2000 and projections for 2030*. *Diabetes Care* 27: 1047-1053.
- Williams, P., Zhao, X., Marcovina, S., Brown, B., & Krauss, R. (2013). *Levels of cholesterol in small LDL particles predict atherosclerosis progression and incident CHD in the HDL-Atherosclerosis Treatment Study (HATS)*. *PloS One*, 8(2), e56782.
- Wing, R., Goldstein, M., Acton, K., Birch, L., Jakicic, J., & Sallis, J. (2001). *Behavioral science research in diabetes: lifestyle changes related to obesity, eating behavior, and physical activity*. *Diabetes Care* 24: 117-123.
- Yavari, A., Najafipoor, F., Aliasgharzadeh, A., Niafar, M., & Mobasseri, M. (2012). *Effect of Aerobic Exercise, Resistance Training or Combined Training on Glycaemic Control and Cardiovascular Risk Factors in Patients With Type 2 Diabetes*. *Biol Sport*, 29(2), 135–143.
- Zhao, G., Ford, E., Li, C., & Balluz, L. (2011). *Physical Activity in U.S. Older Adults with Diabetes Mellitus: Prevalence and Correlates of Meeting Physical Activity Recommendations*. *J Am Geriatr Soc.* (59) 1: 132-137.
- Zhu, J., Feng, P., Guo, S., Liao, X., Liu, J., Zhang, J., & Zhang, T. (2014). *Clinical Significance of Screening Impaired Glucose Tolerance in*

Essential Hypertension Patients. In Proceedings of the 2012 International Conference on Applied Biotechnology (ICAB 2012) (pp. 783–788).

8 Anhang



**„Effekte eines Ganzkörper-Vibrationstrainings
im Vergleich zum sanften Krafttraining
auf die Stoffwechselfparameter
des männlichen Diabetes mellitus Typ 2“**

Wer?

Wir suchen männliche Typ 2 Diabetiker im Alter zwischen 50 und 70 Jahren

Was?

In dieser Studie soll im Rahmen einer medizinischen Doktorarbeit der Vergleich der Auswirkungen eines Vibrationstrainings mit einem sanften Krafttraining auf verschiedene Stoffwechselfparameter durchgeführt werden. Dafür wird über einen Zeitraum von 12 Wochen 2 Mal pro Woche trainiert.

Wann?

September 2009 bis Dezember 2009

Wo?

Trainiert wird in der Sportmedizin Tübingen, Silberstraße 5, bzw. in der Kraft- und Fitnesshalle des Instituts für Sportwissenschaften der Universität Tübingen, Alberstraße 27.

Haben Sie Interesse an dieser Studie teilzunehmen?

Für nähere Informationen stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung!

Marie Lange



Tel.: 0160- 7546656

E-Mail: marie.lange@student.uni-tuebingen.de



**DIABETIKER TYP 2
GESUCHT**

für eine klinische Studie

zum Vergleich eines Vibrationstrainings
mit einem sanften Krafttraining
beim männlichen Diabetes mellitus Typ 2

Persönlicher Nutzen durch die Teilnahme:

- Kostenfreie Diagnostik
- Kostenfreies Vibrations- oder Krafttraining unter Anleitung
- Therapeutische Effekte (u.a. Senkung des Langzeitblutzuckers)
- Risikosenkung für diabetische Folgeerkrankungen

Marie Lange
Tel.: 0160- 7546656
E-Mail: marie.lange@student.uni-tuebingen.de

Abb. 34: Flyer für die Probandensuche

Borg Skala

Wie anstrengend ist/war die Belastung?

6	
7	Sehr, sehr leicht
8	
9	Sehr leicht
10	
11	Recht leicht
12	
13	Etwas anstrengend
14	
15	Anstrengend
16	
17	Sehr anstrengend
18	
19	Sehr, sehr anstrengend
20	

Abb. 35: Borg Skala

Wir wollen Ihr Anstrengungsempfinden während der Belastung bestimmen, das heißt wir wollen feststellen, wie anstrengend eine körperliche Belastung für Sie ist. Das Anstrengungsempfinden hängt von der Beanspruchung und Ermüdung der Muskulatur ab, ferner von Atemlosigkeit (beziehungsweise Luftnot) oder Brustschmerzen.

Diese Skala erstreckt sich von 6-20. 6 bedeutet überhaupt nicht anstrengend und 20 bedeutet maximale Anstrengung für Sie.

~6: überhaupt nicht anstrengend

~9: entspricht einer sehr leichten Anstrengung, wie bei einer Normalperson das normale Gehen im eigenen Tempo.

~13: auf der Skala ist: „etwas anstrengend“, man kann bei der Belastung aber gut weitermachen.

~15: ist „anstrengend“ und „schwer“, aber Fortfahren ist noch möglich.

~17: „sehr anstrengend“. Sie können die Belastung noch weitermachen, sie müssen sich aber sehr anstrengen und sind bald erschöpft.

~19: „sehr sehr anstrengend“, für die meisten Personen ist dies eine sehr anstrengende Belastung, die stärkste, die sie jemals erlebt haben.

~20: bedeutet maximale Anstrengung.

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 unterschätzen. Ihre eigene Empfindung von Leistung und Anstrengung ist wichtig, nicht die im Vergleich zu anderen. Schauen Sie auf die Skala und die begleitenden Worte, und geben Sie eine Zahl an.

Abb. 36: Anleitung Borg Skala für Probanden

Nr.:

Name, Vorname:

	Datum	Übung 1		Übung 2		Übung 3		Übung 4		Übung 5		Übung 6		Übung 7		RR		Blutzucker	
		Fre- quenz (Hz)	Borg	Fre- quenz (Hz)	Borg	Fre- quenz (Hz)	Borg	Fre- quenz (Hz)	Borg	Fre- quenz (Hz)	Borg	Fre- quenz (Hz)	Borg	Fre- quenz (Hz)	Borg	Vor Training	Nach Training	Vor Training	Nach Training
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			
19																			
20																			
21																			
22																			
23																			
24																			

Abb. 37: Kontrollbogen Vibrations-Training

Nr.:

Name, Vorname:

	Datum	Ruderzug		Bauchtrainer		Beinpresse		Butterfly		Leg-Curl		RR		Blutzucker	
		Gewicht (kg)	Borg	Gewicht (kg)	Borg	Sitz Gewicht (kg)	Borg	Sitz Gewicht (kg)	Borg	Beinrolle Gewicht (kg)	Borg	Vor Training	Nach Training	Vor Training	Nach Training
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															

Abb. 38: Kontrollbogen Kraft-Training

Tab. 31: Blutzuckermessungen in der Vibrations-Trainingsgruppe während der Trainingszeit

Name		M1		M2		M4		M8		M10		M11		M13		M17	
		vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach
Wo 1	n.m.	n.m.	131	110	n.m.	114	124	93	102	93	224	233	n.a.	n.a.	n.a.	220	189
	n.a.	n.a.	121	126	181	n.a.	n.a.	94	98	94	n.m.	n.m.	111	107	107	223	189
Wo 2	189	207	140	89	n.m.	n.m.	209	125	236	209	125	124	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.
	218	194	127	124	147	129	159	155	134	97	165	138	201	151	173	174	174
Wo 3	n.a.	n.a.	110	101	89	77	107	121	71	76	128	142	94	97	129	130	130
	179	152	168	135	218	198	84	114	113	158	98	100	116	102	139	193	193
Wo 4	193	196	123	109	166	160	148	185	148	135	268	190	170	128	151	134	134
	157	140	101	97	145	98	148	139	169	218	98	120	124	121	181	173	173
Wo 5	132	137	112	102	184	177	119	127	82	96	180	162	181	178	150	150	150
	n.a.	n.a.	132	116	127	102	106	101	117	103	266	184	120	143	125	121	121
Wo 6	192	208	237	181	113	109	115	112	95	102	170	150	124	106	156	150	150
	124	132	96	96	227	225	n.a.	n.a.	77	70	130	128	147	132	142	146	146
Wo 7	149	146	S.a.	S.a.	S.a.	110	113	114	62	71	138	141	136	130	175	169	169
	136	149	S.a.	S.a.	S.a.	160	123	131	187	187	172	172	140	102	144	225	225
Wo 8	222	204	S.a.	S.a.	S.a.	247	89	103	130	143	149	155	138	121	178	147	147
	199	182	S.a.	S.a.	S.a.	174	131	138	182	142	151	157	117	101	119	111	111
Wo 9	n.a.	n.a.	S.a.	S.a.	S.a.	166	100	102	87	87	133	136	117	118	109	110	110
	153	129	S.a.	S.a.	S.a.	299	116	129	132	103	163	159	132	123	135	135	135
Wo 10	164	157	S.a.	S.a.	S.a.	149	168	159	238	225	187	177	154	142	115	102	102
	156	139	S.a.	S.a.	S.a.	159	142	115	65	86	151	151	151	126	142	137	137
Wo 11	163	157	S.a.	S.a.	S.a.	139	172	119	216	138	173	176	134	125	112	113	113
	160	148	S.a.	S.a.	S.a.	237	177	79	150	155	201	173	179	149	143	135	135
Wo 12	158	133	S.a.	S.a.	S.a.	140	120	157	194	237	132	130	155	121	135	115	115
	153	150	S.a.	S.a.	S.a.	320	278	n.a.	96	105	150	139	109	104	161	143	143

Wo: Trainingswoche, M: Proband, vor/nach: Blutzuckerwerte vor und nach der jeweiligen Trainingseinheit, n.a.: nicht anwesend, n.m.: nicht messbar, S.a.: Studie abgebrochen.

Tab. 32: Blutzuckermessungen in der Kraft-Trainingsgruppe während der Trainingszeit.

Name	M5		M6		M7		M9		M12		M16		M18		M19		M20	
	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach	Vor	nach	vor	nach
Wo 1	140	n.m.	n.a.	n.a.	n.m.	n.m.	129	99	n.m.	n.m.	98	n.m.	220	224	224	n.m.	n.m.	n.m.
	140	91	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	87	97	396	n.m.	98	89	185	134	224	170	124	137
Wo 2	221	197	132	105	119	116	107	88	381	360	133	115	178	119	184	161	121	119
	n.m.	n.m.	142	96	83	84	122	92	324	329	107	89	149	76	n.m.	n.m.	101	102
Wo 3	137	112	128	120	117	86	99	90	276	289	108	94	189	115	143	145	91	109
	155	163	221	149	86	75	143	88	316	346	142	106	204	174	145	147	103	105
Wo 4	172	178	123	101	83	72	125	81	309	305	64	79	180	110	158	141	106	112
	184	135	126	125	88	78	100	82	314	294	116	102	200	212	174	133	n.a.	n.a.
Wo 5	93	81	118	136	79	78	116	82	325	301	133	118	203	167	146	123	102	102
	121	144	160	130	99	86	101	79	322	310	124	87	177	187	142	117	97	107
Wo 6	175	198	n.a.	n.a.	114	90	118	94	317	314	192	128	200	190	142	143	92	97
	168	128	139	129	130	122	112	93	339	358	84	95	152	144	103	86	105	99
Wo 7	211	226	95	98	107	110	100	96	329	377	65	67	188	149	171	149	92	105
	149	114	155	111	107	110	105	89	350	330	124	113	181	170	141	116	93	99
Wo 8	133	101	101	115	104	93	120	88	322	337	143	93	233	187	201	175	103	90
	178	158	142	95	76	63	94	90	322	374	80	85	215	175	153	131	105	115
Wo 9	173	152	108	90	118	115	93	106	312	288	187	134	210	215	169	146	100	104
	148	151	143	90	79	100	106	86	298	274	119	88	175	156	187	158	n.a.	n.a.
Wo 10	104	138	178	122	95	109	98	83	n.m.	n.m.	132	83	153	119	150	122	95	111
	111	101	122	93	221	n.m.	96	85	313	340	106	85	169	141	142	135	94	113
Wo 11	178	155	140	146	122	93	103	86	381	351	116	85	210	210	146	134	n.m.	88
	122	160	n.a.	n.a.	108	110	103	89	339	344	83	92	198	205	170	138	84	88
Wo 12	152	160	111	97	76	74	105	95	382	325	141	89	147	201	155	151	84	88
	165	173	146	128	117	88	114	86	333	321	78	74	210	190	149	139	86	85

Wo: Trainingswoche, M: Proband, vor/nach:Blutzuckerwerte vor und nach der jeweiligen Trainingseinheit, n.a.: nicht anwesend, n.m.: nicht messbar.

Tab. 33: Probandentabellen

Probanden- Nummer	Trainings- gruppe (0=KG; 1=VTG; 2=KTG)	Geschlecht (1=m; 2=w)	Alter (Jahre)	Diagnose- datum Diabetis	Insulin- pflichtigkeit (0=keine Insulinpflicht; 1=Insulinpflicht)	Sport zu Beginn der Studie (0=nein, 1=ja)	Größe (cm)	Gewicht (kg) ET	Gewicht (kg) AT	BMI (kg/m ²) ET	BMI (kg/m ²) AT	Bauch- umfang (cm) ET	Bauch- umfang (cm) AT
1	1	1	56	2005	0	1	185	94	94	27,5	27,5	99	98,5
2	1	1	46	2003	1	1	180	108	S.a.	33,3	S.a.	118	S.a.
4	1	1	65	1992	1	1	187,5	130,5	132	37,1	37,6	134	139
5	2	1	66	1994	0	0	165	61	60	22,4	22,0	83	78
6	2	1	69	2008	0	1	174	100	100	33,0	33,0	109	108
7	2	1	71	2007	0	1	172	104	102	35,2	34,5	124	121
8	1	1	56	2009	0	1	166	85	85	30,9	30,9	104	105
9	2	1	65	2004	0	1	175	70	71	22,9	23,2	90	90
10	1	1	61	1999	1	1	173	116,5	117	38,9	39,1	125,5	126
11	1	1	71	1993	1	0	164	95	95	35,2	35,2	122	120
12	2	1	52	2004	0	0	192	97,5	94	26,5	25,5	104	97
13	1	1	51	2005	0	1	182	110	109	33,2	32,9	115	114
14	0	1	61	1989	0	1	183	101	98,5	30,2	29,4	112	108
15	0	1	59	2008	0	1	179	91	90,5	28,4	28,3	112	102
16	2	1	68	1996	1	0	182	100,5	100,5	30,3	30,3	112	111
17	1	1	57	1999	0	1	185	95	93,5	27,8	27,3	100	97
18	2	1	67	1989	1	1	172	91	93	30,8	31,4	120	120
19	2	1	73	2001	0	1	177	81	78,5	25,9	25,1	91	90
20	2	1	66	2001	0	0	179	94,5	93	29,5	29,0	103,5	99
21	0	1	62	2001	0	0	163	75	73	28,2	27,5	105	105
22	0	1	70	1960	0	1	173	71	71	23,7	23,7	92	90
24	0	1	57	2003	0	1	170	87	85,5	30,1	29,6	105,5	106
25	0	1	60	2001	0	0	172	98	97	33,1	32,8	113	115
26	0	1	62	1997	1	0	173	98,5	99	32,9	33,1	115	123
28	0	1	63	2004	0	1	173	99	97	33,1	32,4	116	114

Anhang

Probanden- Nummer	Anzahl an wahrge- nommenen Trainings- einheiten	Compliance zum Training (% an wahrge- nommenen Trainings- einheiten)	Knie- extension beidseitig (Nm) ET	Knie- extension beidseitig (Nm) AT	Knieflexion beidseitig (Nm) ET	Knieflexion beidseitig (Nm) AT	Vordere Schulter- stabilisatoren (Nm) ET	Vordere Schulter- stabilisatoren (Nm) AT	LWS /BMW Extension (Nm) ET	LWS /BMW Extension (Nm) AT	LWS /BMW Flexion (Nm) ET	LWS /BMW Flexion (Nm) AT
1	20	83	578	635	322	352	203	213	466	428	239	247
2	12	50	404	S.a.	261	S.a.	181	S.a.	346	S.a.	133	S.a.
4	24	100	339	416	255	271	185	182	388	438	190	208
5	24	100	268	228	146	178	87	91	242	236	93	105
6	20	83	282	322	236	278	157	163	522	518	172	168
7	23	96	327	331	187	189	178	182	364	402	108	233
8	21	88	369	369	225	238	119	139	320	327	159	176
9	24	100	271	309	215	226	131	146	199	274	120	131
10	24	100	362	464	244	257	140	143	388	438	128	143
11	24	100	315	339	187	210	99	100	297	363	82	92
12	24	100	354	363	344	303	187	189	394	396	179	194
13	23	96	465	486	208	232	144	159	365	368	189	185
14	0	0	323	323	198	223	145	135	376	346	125	131
15	0	0	414	381	327	267	150	159	355	309	168	181
16	24	100	405	366	234	244	205	229	359	391	131	131
17	24	100	397	459	287	276	160	162	316	388	161	178
18	24	100	273	324	179	188	124	126	310	359	62	104
19	24	100	387	358	177	n.m.	139	157	303	305	144	139
20	22	92	369	336	301	313	157	175	330	334	144	151
21	0	0	206	203	140	155	74	80	214	242	94	98
22	0	0	298	327	172	204	90	89	218	218	114	111
24	0	0	390	402	256	231	120	135	365	384	105	127
25	0	0	417	386	273	253	133	140	372	336	75	79
26	0	0	228	242	112	118	94	106	249	259	119	119
28	0	0	290	331	226	267	115	141	204	222	147	158

Anhang

Probanden- Nummer	HbA1c (%) ET	HbA1c (%) AT	Nüchtern- blutzucker (mg/dl) ET	Nüchtern- blutzucker (mg/dl) AT	OGTT Blutzucker nach 30 min (mg/dl) ET	OGTT Blutzucker nach 30 min (mg/dl) AT	OGTT Blutzucker nach 60 min (mg/dl) ET	OGTT Blutzucker nach 60 min (mg/dl) AT	OGTT Blutzucker nach 90 min (mg/dl) ET	OGTT Blutzucker nach 90 min (mg/dl) AT	OGTT Blutzucker nach 120 min (mg/dl) ET	OGTT Blutzucker nach 120 min (mg/dl) AT
1	7,0	7,0	185	200	248	229	335	255	343	278	285	295
2	6,0	S.a.	125	S.a.								
4	7,9	7,8	130	179	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT
5	6,7	6,9	142	156	292	249	342	350	345	346	377	321
6	6,6	6,8	134	148	276	211	342	272	270	228	261	196
7	5,5	5,6	98	107	202	135	228	195	239	166	246	95
8	5,6	5,9	132	142	207	172	287	285	259	254	238	244
9	5,5	5,7	94	111	158	139	282	177	279	212	204	194
10	6,1	6,3	170	139	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT
11	6,9	7,4	131	157	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT
12	11,5	12,6	319	298	299	250	331	302	423	339	338	333
13	7,5	7,3	154	171	275	267	239	320	298	277	248	222
14	6,8	7,2	147	215	236	192	262	198	399	186	290	205
15	6,6	6,4	139	120	226	244	319	274	304	252	261	190
16	6,8	6,5	101	121	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT
17	8,4	8,3	182	209	262	271	307	261	267	340	276	351
18	6,1	6,1	211	174	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT
19	7,2	7,0	158	125	257	145	292	214	284	260	233	272
20	5,5	5,5	121	99	177	144	185	223	122	194	89	154
21	6,6	7,0	149	143	208	169	221	268	206	251	349	246
22	6,7	6,5	127	135	185	178	213	203	218	206	224	201
24	8,3	7,9	207	185	323	222	275	349	371	314	335	302
25	6,5	7,0	128	145	276	211	277	264	280	273	212	254
26	7,8	8,0	131	87	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT
28	6,2	6,1	136	126	170	171	206	229	219	250	203	238

Anhang

Probanden- Nummer	Gesamt- cholesterin (mg/dl) ET	Gesamt- cholesterin (mg/dl) AT	LDL (mg/dl) ET	LDL (mg/dl) AT	HDL (mg/dl) ET	HDL (mg/dl) AT	Triglyceride (mg/dl) ET	Triglyceride (mg/dl) AT
1	145	176	82	109	44	39	95	137
2	102	S.a.	52	S.a.	28	S.a.	108	S.a.
4	102	118	46	57	41	45	72	84
5	140	165	84	93	42	53	70	105
6	184	167	131	129	31	34	108	117
7	168	194	104	113	37	38	138	216
8	157	194	52	48	25	25	399	641
9	172	182	110	98	40	45	111	102
10	222	203	133	106	51	57	192	195
11	197	216	130	122	36	40	155	272
12	174	186	135	136	20	24	92	98
13	268	228	n.m.	110	33	43	580	374
14	153	222	86	77	36	45	148	138
15	283	281	203	204	51	38	144	194
16	139	163	94	93	27	27	88	198
17	110	135	55	57	32	29	117	244
18	183	182	93	88	62	74	137	100
19	193	118	122	80	55	62	78	74
20	226	226	131	46	63	46	157	158
21	179	172	89	94	40	38	252	200
22	144	148	88	87	40	42	75	92
24	248	239	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	650	650
25	208	163	144	108	48	44	81	53
26	182	178	117	107	16	29	250	212
28	140	146	67	69	44	36	147	203

S.a.: Studie abgebrochen, IT: Insulintherapie, n.m.: nicht messbar.

9 Erklärung

Die Arbeit wurde im Institut für Sportmedizin der Eberhard Karls Universität Tübingen unter der Betreuung von Prof. Dr. med. H.-C. Heitkamp durchgeführt.

Herr Prof. Dr. med. H.-C. Heitkamp war an der Konzeption beteiligt, hat die Arbeit betreut und das Manuskript korrigiert.

Die Studie wurde nach Einarbeitung durch Mitarbeiter des Instituts für Sportmedizin der Eberhard Karls Universität Tübingen (Dipl. Sportwiss. P. Schneeweiß, Dipl. inf. C. Plank), das Team des Medizinischen Trainings- und Rehabilitationszentrums Tübingen (S. Hofer) und den Mitarbeitern der Kraft- und Fitnesshalle des Instituts für Sportwissenschaft Tübingen (I. Haubner) sowie mit der Unterstützung von Dr. med. J. Laukenmann von mir selbständig durchgeführt.

Die statistische Auswertung erfolgte nach Beratung durch das Institut für klinische Epidemiologie und angewandte Biochemie (Dr. Blumenstock) eigenständig durch mich.

Hiermit versichere ich, das Manuskript selbständig nach Anleitung durch Prof. Dr. med. H.-C. Heitkamp verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Tübingen, den 22.10.2019

10 Danksagung

Ich danke allen herzlich, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt dabei Herrn Prof. Dr. med. H.-C. Heitkamp, für die Überlassung der Fragestellung und seine sehr geduldige, stetige und freundliche Betreuung.

Des Weiteren danke ich allen Mitarbeitern des Instituts für Sportmedizin Tübingen, insbesondere Dipl. Sportwiss. P. Schneeweiß und Dipl. inf. C. Plank für die hilfreiche Unterstützung.

Auch möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn S. Hofer und dem Team des Medizinischen Trainings- und Rehabilitationszentrums Tübingen für die freundliche Bereitstellung der DAVID-Geräte bedanken.

Überdies gilt mein Dank Herrn I. Haubner und den Mitarbeitern der Kraft- und Fitnesshalle des Instituts für Sportwissenschaft Tübingen für die großzügige Überlassung der Räumlichkeiten und der Trainingsgeräte, die der Durchführung des Krafttrainings dienten.

Dem Institut für Medizinische Biometrie der Universität Tübingen, insbesondere Herrn Dr. G. Blumenstock, danke ich für die engagierte Beratung in statistischen Fragen.

Im Besonderen möchte ich auch Frau Dr. med. J. Laukenmann für die anregende Zusammenarbeit, die gegenseitige Unterstützung und Ermutigung danken.

Ebenso bedanke ich mich bei allen Unterstützern aus dem Kreis der Familie und der Freunde, die mir in allen Fragen stets bedingungslos hilfsbereit zur Seite standen.

Zu guter Letzt danke ich allen Probanden, ohne deren bereitwillige Teilnahme an den Messungen und engagierte Mitarbeit in den Trainingseinheiten diese Studie nicht möglich gewesen wäre.

11 Lebenslauf

Persönliche Daten

Marie Brähne, geb. Lange

geboren am 12.04.1979 in Bad Dürkheim

Berufliche Tätigkeit

Seit 01.02.2019	Ärztin in Weiterbildung Praxis für Psychiatrie und Psychotherapie Konstanz
01.02.2018-31.01.2019	Ärztin in Weiterbildung ZfP Reichenau
01.01.2017-31.01.2018	Ärztin in Weiterbildung ZfP Weinsberg
06/2016 - 12/2016	Ärztin in Weiterbildung SLK Lungenklinik Löwenstein
06/2014 - 06/2015	Ärztin in Weiterbildung ACURA Klinik Albstadt

Ausbildung

04/2007 - 11/2013	Studium der Humanmedizin Eberhard Karls Universität Tübingen
03/2001 - 09/2006	Studium der Diplom-Sportwissenschaft Deutsche Sporthochschule Köln
06/1999	Abitur Alexander-von-Humboldt Gymnasium Konstanz